

**OPTIMASI INJEKSI *PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION*
UNTUK MEMINIMALISASI LOSSES MENGGUNAKAN ANT
COLONY OPTIMIZATION CONTINUOUS DOMAIN DAN *IMPROVED*
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

TESIS

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI SISTEM TENAGA LISTRIK**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



**ALVIN ZUHAIR
NIM. 166060300111010**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019**

LEMBAR PERSETUJUAN
OPTIMASI INJEKSI *PHOTOVOLTAIC DISTRIBUTED GENERATION*
UNTUK MEMINIMALISASI LOSSES MENGGUNAKAN ANT
COLONY OPTIMIZATION CONTINUOUS DOMAIN* DAN *IMPROVED
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION
REVISI TESIS

PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI SISTEM TENAGA LISTRIK

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Magister Teknik



Menyetujui
KOMISI PEMBIMBING

Ketua,

Anggota,

Ir. Hadi Suyono, S. T., M. T., Ph.D., IPM.
NIP.197305202008011013

Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197412032000121001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.
NIP. 197003292000121001

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.3 <i>PhotoVoltaic Distributed Generation</i>	9
2.4 Analisis Aliran Daya.....	11
2.4.1 Analisis Aliran Daya Metode Newton-Raphson.....	12
2.4.2 Rugi-rugi Daya Pada Saluran.....	14
2.5 Optimasi	15
2.6 Ant Colony Optimization.....	16
2.6.1 Ant System.....	17
2.6.2 Max-Min Ant System.....	18
2.6.3 Ant Colony System.....	19
2.7 Algoritma PSO.....	20
2.7.1 Metode IPSO	21
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....	25
3.1 Kerangka Berpikir.....	25
3.2 Variabel Penelitian.....	25
3.3 Hipotesis	26
BAB IV METODE PENELITIAN.....	27

4.1 Studi Literatur	27
4.2 Pengumpulan Data	27
4.3 Data Penelitian.....	27
4.4 Analisis Aliran Daya	27
4.5 Rancangan Diagram Alir Analisis Daya “Newton-Rapson”	28
4.6 Rancangan Diagram Alir metode Optimasi ACO.....	29
4.7Rancangan Diagram Alir IPSO.....	31
4.8Penjelasan Tahapan Penelitian	39
4.9Tempat dan Waktu Penelitian	35
DAFTAR PUSTAKA	37

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
	Gambar 2.1 konfigurasi dasar sistem PV grid connected.....	10
	Gambar 3.1 Kerangka berpikir penelitian.....	24
	Gambar 4.1 Diagram alir analisis daya “ <i>Newton-Raphson</i> ”.....	28
	Gambar 4.2 Representasi pergerakan <i>krill</i>	31
	Gambar 4.3 Diagram alir metode <i>improved</i> PSO.....	33
	Gambar 4.4 Diagram Alir Metodologi Penelitian	34

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 1.	Waktu pelaksanaan penelitian.....	36

RINGKASAN

Alvin Zuhair, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2019, Optimasi Injeksi *Photovoltaic Distributed Generation* untuk Meminimalisasi *Losses* Menggunakan *Ant Colony Optimization Continuous Domain* dan *Improved Particle Swarm Optimization*, Dosen Pembimbing : Hadi Suyono dan M Aziz Muslim.

Solusi terbaik dalam menyelesaikan permasalahan krisis energi pembangkit listrik yaitu dibutuhkan sumber energi alternatif atau terbarukan yang ramah lingkungan, ekonomis, berkelanjutan dan secara teknis mudah di implemetasikan. Pada sistem tenaga listrik, kualitas daya listrik yang diterima oleh beban yang jauh dari pusat pembangkitan listrik semakin menurun dan rugi-rugi daya semakin meningkat. Dalam mempertahankan kualitas tegangan dan menambah pasokan daya pada jaringan, perlu pemanfaatan pembangkit energi matahari yaitu *Photovoltaic Distributed Generation* (PVDG). Penelitian ini membahas optimasi PVDG dengan melakukan pencarian lokasi injeksi dan kapasitas daya menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (AC OCD) dan *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO).

Terdapat tiga skenario yang di implementasikan pada pada sistem yang berdasarkan peningkatan nilai injeksi dan penyebaran pembangkit dari sumber pembangkitan awal. Hasil yang diperoleh menunjukkan kondisi ideal sistem terdapat pada optimasi skenario-3 dengan penambahan 4 PVDG dengan daya injeksi 50% nilai daya beban maksimum dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 2 MW. Rugi-rugi daya menurun setelah injeksi daya PVDG, pengurangan daya aktif yang sebelum injeksi 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 0.09% (AC OCD) dan 0,13% (IPSO). Dari penelitian ini menunjukkan metode AC OCD lebih baik dibandingkan metode IPSO.

Kata Kunci: *Photovoltaic Distributed Generation, Ant Colony Optimization Continuous Domain, Improved Particle Swarm Optimization.*

SUMMARY

Alvin Zuhair, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2019, Optimization of Photovoltaic Distributed Generation Injection to Minimize Losses Using Ant Colony Optimization Continuous Domain and Improved Particle Swarm Optimization, Supervisors: Hadi Suyono and M. Aziz Muslim.

The best solution in solving the problem of power plant energy crisis is that alternative, renewable energy sources are needed that are environmentally friendly, economical, sustainable and technically easy to implement. In an electric power system, the quality of electric power received by loads far from the center of electricity generation decreases and power losses increase. In maintaining voltage quality and increasing power supply to the network, it is necessary to utilize solar energy generation, namely Photovoltaic Distributed Generation (PVDG). This study discusses PVDG optimization by searching for injection locations and power capacity using the Ant Colony Optimization Continuous Domain (AC OCD) and Improved Particle Swarm Optimization (IPSO) methods.

There are three scenarios that are implemented in a system based on increasing the value of injection and spreading the plant from the initial generation source. The results obtained indicate the ideal condition of the system contained in the optimization scenario-3 with the addition of 4 PVDG with 50% injection power value of the maximum load power with constraints given at the lower limit of the generation of 0.5 kW and the upper limit of the generation of 2 MW. Power losses decreased after PVDG power injection, the reduction of active power which was before injection was 5.08% but, after PVDG power injection the active power losses decreased to 0.09% (AC OCD) and 0.13% (IPSO). From this study, the AC OCD method is better than the IPSO method.

Keywords: *Photovoltaic Distributed Generation, Ant Colony Optimization Continuous Domain, Improved Particle Swarm Optimization.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem kelistrikan di Indonesia sebagian besar dihasilkan oleh mesin penggerak berbahan bakar fosil. Menipisnya persediaan bahan bakar fosil tidak didukung oleh ketersediaan cadangan energi yang dimiliki. Masalah keterbatasan energi mempunyai kecenderungan meningkat dan berkembang (Zainuddin, 2014). Dalam menyelesaikan permasalahan krisis energi tersebut maka solusi terbaik yaitu dibutuhkan sumber energi alternatif atau terbarukan yang ramah lingkungan, ekonomis, berkelanjutan dan secara teknis mudah di implementasikan. Disamping itu, perkembangan teknologi tentang sumber energi terbarukan dikombinasikan dengan berkembangnya perhatian masyarakat akan isu-isu lingkungan maka *distributed generation* (DG) yang terhubung dengan jaringan telah banyak digunakan.

Distributed generation (DG) adalah teknologi pembangkitan energi listrik berskala kecil yang menghasilkan daya listrik di suatu tempat yang lebih dekat dengan konsumen dibandingkan dengan pusat pembangkit listrik (Ackermann dkk.,2001). Pembangkit energi listrik ini dapat dihubungkan secara langsung ke konsumen atau ke sistem distribusi maupun transmisi. Penempatan DG dapat mempengaruhi aliran daya dan tegangan pada bus di sistem distribusi. Oleh karena itu, penempatan DG harus diperhitungkan dan direncanakan secara detail agar dapat bekerja secara optimal (Haesen,dkk. 2005). Penempatan DG yang tidak optimal dapat meningkatkan losses pada sistem, sehingga berpengaruh terhadap profil tegangan yang akan menurun. Selain itu, kapasitas DG harus diperhatikan untuk memberikan dampak positif. Penempatan dan kapasitas DG yang optimal dapat berpengaruh kepada peningkatan profil tegangan, dan mengurangi *losses* atau rugi-rugi daya. Sebuah solusi perencanaan pengembangan energi terbarukan yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan model *photovoltaic ditributed generation* dalam menjawab permasalahan kualitas dan keberlanjutan persediaan energi listrik di Indonesia.

Penerapan *photovoltaic* menggunakan sistem DG menjadi sebuah harapan besar di Indonesia untuk memaksimalkan pasokan listrik, mengurangi penggunaan konsumsi solar, dan peningkatan kualitas daya listrik. Dampak penerapan *distributed generations* (DG) yaitu dapat menaikkan profil tegangan penyulang, mengantisipasi ketidakseimbangan

beban penyulang, mengurangi fluktuasi aliran daya reaktif, menaikkan faktor daya, mengurangi rugi-rugi daya aktif dan reaktif, pemberian insentif terhadap penyedia energi PV lokal, dan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Menurut penelitian Zainuddin (2014) bahwa ketidakseimbangan daya pada saat injeksi pada penyulang berdampak pada fluktuasi tegangan. Maka itu perlu dilakukan suatu metode yaitu metode optimasi, metode optimasi adalah metode untuk memaksimalkan atau mengoptimalkan. Optimasi yang sesuai untuk parameter acak yaitu dengan metode pendekatan non linear. Ada banyak metode optimasi misalnya metode logika *fuzzy*, *artificial neural network* (ANN) metode *genetic algorithms*, metode *Ant Colony Optimization* (ACO) dan *particle swarm optimization* (PSO). Namun penentuannya sangat tergantung pada ketepatan data input untuk melakukan proses pencarian hingga mencapai nilai paling optimal.

Ant colony optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai system semut (Dorigo M., dan Gambardella L., 1996). Secara alamiah koloni semut mampu menemukan rute terpendek dalam perjalanan dari sarang ke tempat-tempat sumber makanan. Koloni semut dapat menemukan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan berdasarkan jejak kaki pada lintasan yang telah dilalui. Semakin banyak semut yang melalui suatu lintasan, maka akan semakin jelas bekas jejak kakinya. Keunggulan metode ACO pada penelitian ini yaitu Mampu memberikan nilai dengan solusi tunggal untuk beberapa kali pengujian (Anon, 2015). Mengingat prinsip algoritma yang didasarkan pada perilaku koloni semut dalam menemukan jarak perjalanan paling pendek tersebut, ACO sangat tepat digunakan untuk diterapkan dalam penyelesaian masalah optimasi ini. Metode ACO terdiri dari berbagai macam pengembangan salah satunya yaitu *Ant Colony Optimization Contionus Domain* (ACOCD). *ACOCD* merupakan metode pengembangan dari *Ant Colony Optimization* (ACO). Metode ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan. Pembaruan feromon dilakukan dengan menambahkan set solusi yang baru dibuat untuk solusi arsip T sehingga ukuran total arsip tidak berubah. Proses ini memastikan bahwa hanya solusi terbaik disimpan dalam arsip, sehingga mereka memandu semut baru secara efektif dalam proses pencarian (Dorigo M., dan Socha K., 2008).

Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan metode metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku social binatang seperti kawanan burung dan ikan (Dr. Eberhart. Dr. Kennedy .1995). Ketika mencari mangsa, kawanan tersebut bergerak bersama-sama,

tanpa ada yang mengkoordinasi, tetapi pergerakannya memiliki derajat keteraturan tertentu. Kelebihan metode ini yaitu Perhitungan dari algoritma PSO sangat sederhana dibandingkan dengan perhitungan algoritma yang berkembang lainnya. Algoritma PSO ini memiliki tingkat optimasi yang paling tinggi dan dapat diselesaikan dengan perhitungan yang sederhana. Prinsip algoritma ini dapat diterapkan dalam penyelesaian masalah optimasi ini. Metode PSO banyak dikembangkan salah satunya yaitu *Improved Particle Swarm Optimization*. *Improved Particle Swarm Optimization* merupakan metode peningkatan dari PSO standar dengan menambahkan suatu term inersia untuk mengurangi kecepatan pada formula update kecepatan dikarenakan pada PSO standar kecepatan partikel diupdate terlalu cepat dan nilai minimum fungsi tujuan yang dicari sering terlewat.

Penelitian ini membahas mengenai bagaimana menentukan secara optimal lokasi injeksi PV pada suatu penyulang. Lokasi penyulang yang digunakan adalah penyulang dampit 20 kV Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur, dikarenakan pada penyulang ini masih banyak terjadi *losses* yang cukup tinggi dan letaknya yang strategis untuk penempatan PVDG. Metode yang diusulkan yaitu studi optimasi menggunakan *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (ACOCD) dan metode *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO). Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan DG yang optimal dan lokasi penempatan yang tepat. Metode pertama adalah ACOCD dan metode kedua adalah IPSO, kedua metode ini akan dibandingkan untuk mendapatkan solusi optimal dalam memperbaiki kualitas daya dan penempatan DG yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana dijelaskan dalam latar belakang, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penempatan PVDG terhadap rugi-rugi daya aktif dan profil tegangan pada jaringan distribusi 20kV?
2. Bagaimana performansi metode ACOCD untuk kasus optimasi penempatan PVDG pada jaringan distribusi 20 kV?
3. Bagaimana performansi metode IPSO untuk kasus optimasi penempatan PVDG pada jaringan distribusi 20 kV?

4. Metode mana diantara ACOCD atau IPSO yang menunjukkan performansi yang lebih baik untuk kasus optimasi penempatan PVDG pada jaringan distribusi 20kV?
5. Bagaimana Potensi Penerapan PVDG pada Penyulang Dampit terhadap radiasi matahari Kabupaten Malang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberlakukan pada penelitian ini adalah:

1. Sistem kelistrikan yang digunakan sebagai kasus penyelesaian masalah menggunakan sistem distribusi penyulang dampit.
2. Beban operasi yang digunakan pada kondisi semua beban berbeban puncak.
3. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan kekangan kapasitas arus saluran distribusi.
4. Pada tes sistem distribusi semua beban disuplai dengan satu sumber dari jaringan transmisi sebelum adanya penambahan PVDG.
5. Semua beban diasumsikan seimbang, sehingga tidak ada pembahasan ketidakseimbangan beban.
6. Intensitas Matahari pada setiap bus dibatasi.
7. Untuk mengetahui nilai losses yang paling minimal, dengan adanya dampak penempatan PVDG, sehingga analisis biaya tidak dipertimbangkan.
8. Pada penelitian ini tidak mempertimbangkan tipe dan jenis generator yang digunakan pada PVDG.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui penempatan dan kapasitas PVDG yang optimal untuk meminimalkan losses dan meningkatkan profil tegangan pada sistem distribusi.
2. Mengetahui apakah metode ACOCD dan IPSO mampu memberikan dampak positif pada sistem distribusi berupa penurunan losses dan peningkatan profil tegangan jika PVDG ditempatkan pada sistem distribusi..
3. Mengetahui cara kerja metode ACOCD dan IPSO untuk kasus optimisasi penempatan dan kapasitas PVDG pada jaringan distribusi.
4. Mengetahui kapasitas dan jumlah unit PVDG yang akan dipasang pada suatu lokasi yang dipilih oleh ACOCD dan IPSO.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian optimasi penempatan PVDG yaitu:

1. Bagi peneliti, untuk menambah wawasan mengenai manfaat penambahan PVDG dan unjuk kerja optimisasi dengan metode ACOCD dan IPSO pada jaringan distribusi.
2. Bagi mahasiswa, sebagai gambaran bagaimana cara penyelesaian masalah pada jaringan distribusi dengan menambahkan PVDG.
3. Bagi pemerintah, sebagai dasar pengambilan keputusan dengan opsi penambahan PVDG untuk menyelesaikan permasalahan jaringan distribusi.
4. Bagi perusahaan, sebagai dasar pengambilan keputusan untuk memberikan pelayanan terbaik untuk masyarakat dengan penambahan PVDG pada jaringan distribusi.
5. Bagi masyarakat, untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat mengenai metode optimisasi sebagai cara untuk menyelesaikan masalah dan memperkenalkan PVDG beserta manfaatnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengembangan energi yang terbarukan telah banyak menarik perhatian. Para peneliti dunia banyak melakukan penelitian untuk mengembangkan potensi energi terbarukan. Beberapa penelitian telah mengusulkan metode implementasi *Grid Connected* atau *Distributed Generations*. Implementasi tersebut dapat diterapkan pada sumber-sumber energi terbarukan tersebut yakni *photovoltaic distributed generations*. Berikut beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti bidang kelistrikan dari pengembangan PVDG

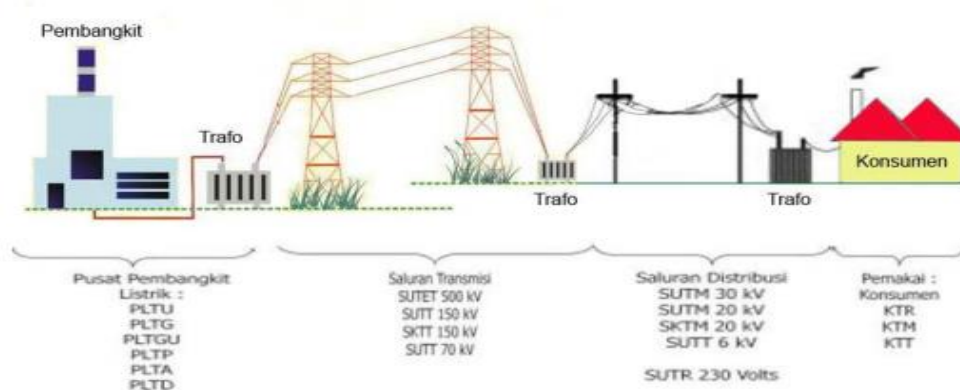
Fahad dan El-Hawary (2011) melakukan penelitian mengenai lokasi optimal unit DG pada system distribusi dengan menggunakan metode *Artificial Bee Colony Algorithm*. Penelitian memaparkan suatu pendekatan optimasi baru yang menggunakan metode algoritma koloni lebah buatan. Untuk menentukan ukuran optimal unit DG, dan faktor daya untuk meminimalkan total kerugian daya riil pada sistem. Algoritma ini berbasis populasi optimasi teknik yang terinspirasi oleh perilaku mencari makan yang cerdas oleh sekawanan lebah madu. Untuk mengungkapkan kebenaran dari algoritma ini, dibutuhkan sampel sistem distribusi radial dengan uji kasus yang berbeda. Hasil yang diperoleh oleh algoritma yang diusulkan dibandingkan dengan yang telah dicapai melalui metode lainnya yaitu dapat membuktikan bahwa algoritma ini lebih efisien, kuat, dan mampu memberikan solusi optimasi pada pencarian lokasi terbaik untuk injeksi daya.

Farhad (2013) melakukan penelitian mengenai lokasi optimal unit DG pada system distribusi dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization*. Penelitian memaparkan suatu pendekatan optimasi baru yang menggunakan metode algoritma koloni semut. Metode koloni semut pertama kali diperkenalkan oleh Moyson dan Mendrik pada tahun 1988, lalu dikembangkan secara luas oleh Marco Dorigo pada tahun 1992. Metode ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan. ACO merupakan teknik probabilistik untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur terbaik. Untuk menentukan ukuran optimal unit DG, dan faktor daya untuk meminimalkan total kerugian daya riil pada sistem. Hasil yang diperoleh yaitu dapat membuktikan bahwa algoritma ini efisien dan mampu memberikan solusi optimasi pada pencarian lokasi terbaik untuk injeksi daya.

Zainuddin (2014) melakukan penelitian mengenai lokasi optimal PVDG pada sistem distribusi dengan menggunakan metode algoritma genetik. Penelitian ini memaparkan suatu pendekatan optimasi metode algoritma yang terinspirasi pada teori genetika yang dijelaskan Darwin. Hasil yang diperoleh oleh algoritma yang diusulkan dibandingkan dengan yang telah dicapai melalui metode lainnya yaitu dapat membuktikan bahwa algoritma ini lebih efisien, kuat, dan mampu memberikan solusi optimasi pada pencarian lokasi terbaik untuk injeksi daya.

2.2 Dasar Teori

Sistem distribusi merupakan jaringan listrik antara pusat pembangkit sampai dengan pusat pemakaian (kWh pelanggan). Tegangan yang dibangkitkan oleh generator biasanya berkisar antara 6 kV sampai 20 kV tergantung dari pabrik pembuat. Untuk mencegah kerugian daya yang besar pada waktu mengirim tenaga listrik dari pembangkit melalui jaringan transmisi ke pusat-pusat beban yang letaknya sangat jauh dari pembangkit maka sebelum ditransmisikan, tegangan ini dinaikkan terlebih dahulu menjadi 70 kV sampai 500 kV. Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Transmisi adalah bagian yang menyalurkan energi listrik dari pusat listrik ke pusat beban yang diterima oleh Gardu Induk (GI). Untuk jarak yang sedang digunakan tegangan transmisi 70 kV. Gambar 2.1 menjelaskan rangkaian sistem tenaga listrik.



Gambar 2.1 Rangkaian sistem tenaga listrik.
Sumber : (Joko et al, 2010)

International Conference on Large High Voltage Electric Systems (CIGRE) mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas antara 50 hingga 100 MW. klasifikasi DG dibedakan berdasarkan tujuan, lokasi penempatan, kapasitas DG, area pengiriman daya listrik, teknologi, dampak lingkungan, mode operasi, kepemilikan dan penetrasi DG ke dalam sistem tenaga listrik, berdasarkan tujuan instalasinya, pembangkit tersebar dibangun untuk menyediakan sumber daya aktif dalam sistem tenaga listrik, sehingga penempatan DG tidak diharuskan untuk mampu menyediakan daya reaktif yang dibutuhkan oleh sistem.

Definisi lokasi DG dari masing-masing pengarang juga sangat bervariasi. Kebanyakan pengarang mendefinisikan lokasi DG pada sistem distribusi, dan dalam beberapa literatur penempatan DG juga termasuk pada sisi sistem transmisi, kapasitas maksimum yang mungkin disuplai oleh DG sebagai sumber energi listrik sering digunakan untuk membatasi kualifikasi dari DG itu sendiri namun penentuan kapasitas DG ini bukan merupakan faktor kritis dalam menentukan definisi DG, kapasitas maksimum yang dapat dikoneksikan dengan sistem tergantung pada kapasitas sistem dan berkorelasi dengan level tegangan tempat dimana DG tersebut diletakkan. Desain teknis dari masing-masing sistem sangatlah unik, karena itu, tidak ada definisi umum dari kapasitas pembangkitan maksimum yang dapat dikoneksikan ke sistem, dengan melakukan perhitungan terhadap beberapa data awal tersebut, maka dapat dihasilkan data umum kapasitas DG yang dibutuhkan oleh sistem.

.Pada pemasangan DG membutuhkan pengelolaan daya reaktif. Pengelolaan daya reaktif merupakan suatu hal yang sangat penting dalam operasi dan kontrol pada sistem. Pengelolaan daya reaktif yang tepat diharapkan dapat mengurangi rugi-rugi daya pada sistem dengan mengatur dan menyesuaikan nilai-nilai dari variabel kontrol daya reaktif yakni tegangan pada pembangkit, pengaturan tap transformator dan sumber daya reaktif pada sistem seperti kapasitor. Rugi-rugi daya reaktif dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya kapabilitas sumber daya reaktif seperti kapasitor, tegangan pembangkit, sudut fasa dan posisi tap transformator yang dapat menyebabkan adanya masalah penyaluran daya reaktif optimal. Tujuan utama dari optimasi daya reaktif adalah untuk meminimalkan rugi-rugi daya nyata, untuk meningkatkan profil tegangan, biaya sistem menjadi murah dan meningkatkan kestabilan tegangan sistem dengan tetap menjaga nilai profil tegangan sesuai dengan nilai yang dapat diterima dengan mengontrol parameter-parameter yang disebutkan sebelumnya. Daya reaktif mempunyai peranan penting dalam

mempertahankan stabilitas dan kehandalan sistem sehingga pengiriman daya reaktif harus seoptimal mungkin.

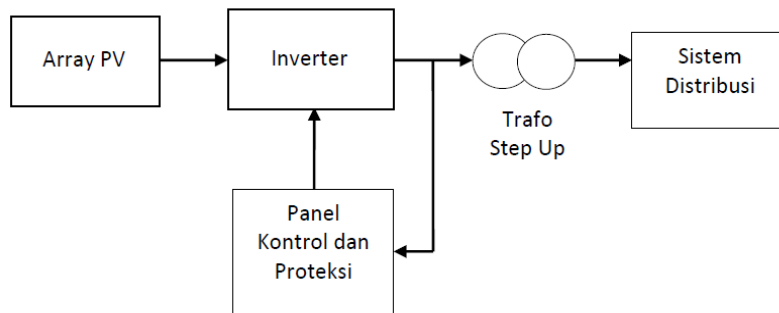
2.3 *PhotoVoltaic Distributed Generation*

Distributed generation seringkali disebut juga dengan *on-site generation*, *dispersed generation*, *embedded generation*, *decentralized generation*, atau *distributed energy*. Secara mendasar, DG menghasilkan energi listrik dari beberapa sumber energi yang berkapasitas kecil dan dihubungkan langsung pada jaringan distribusi.

CIGRE telah mendefinisikan *distributed generation* sebagai semua unit pembangkit dengan kapasitas maksimal berkisar sampai 50 MW dan dipasangkan ke jaringan distribusi. IEEE mendefinisikan *distributed generation* sebagai pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap titik sistem tenaga listrik. IEA (2002) mendefinisikan *distributed generation* sebagai unit-unit yang menghasilkan energi pada sisi konsumen atau dalam jaringan distribusi lokal.

Energi matahari merupakan sumber energi penting sejak dahulu kala, dimulai cara memanfaatkan yang primitif sampai teknologi *photovoltaic*. Matahari melepas 95% energinya sebagai cahaya yang bisa dilihat dan sebagian lagi sebagai yang tidak terlihat seperti sinar infra-red dan ultra-violet. Sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m² /hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi energi surya rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m²/hari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Johan, 2008)

Listrik yang dihasilkan dari sistem *Photovoltaic* yaitu listrik DC. Listrik DC yang dihasilkan dikonversi ke bentuk AC melalui sebuah inverter. Gambar 2.2 menunjukkan ilustrasi penempatan PVDG pada penyulang.



Gambar 2.2. Konfigurasi Dasar Sistem Photovoltaic Grid Connected
 Sumber:Zainuddin(2014)

Nilai beban yang terdapat pada inverter PVDG adalah daya beban pada grid (beban penyulang). Persyaratan utama untuk terhubung ke jaringan sangat ditentukan oleh kualitas arus (IPV) dan tegangan (VPV) output sistem PV dengan arus (IAC) dan tegangan (VAC).

Pemanfaatan energi terbarukan sangatlah bermanfaat dan mempunyai kelebihan disamping itu juga mempunyai kekurangan. Kelebihan dan kekurangan dari penggunaan energi matahari antara lain :

a. Kelebihan :

1. Energi panas matahari merupakan energi yang tersedia hampir diseluruh bagian permukaan bumi dan tidak habis (*renewable energy*).
2. Penggunaan energi panas matahari tidak menghasilkan polutan dan emisi yang berbahaya baik bagi manusia maupun lingkungan.

b. Kekurangan :

1. Sistem pemanas air dan pembangkit listrik tenaga surya tidak efektif digunakan pada daerah memiliki cuaca berawan untuk waktu yang lama.
2. Membutuhkan lahan yang sangat luas yang seharusnya digunakan untuk pertanian, perumahan, dan kegiatan ekonomi lainnya. Hal ini karena rapat energi matahari sangat rendah.

2.4 Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya digunakan untuk menentukan profil tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif diberbagai macam bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal. Selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada.

Tujuan dari analisis aliran daya yaitu untuk mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam kondisi normal. Hasil perhitungan dapat digunakan untuk menelaah berbagai persoalan yang berhubungan dengan jaringan tersebut, yakni meliputi hal-hal yang berhubungan dengan operasi jaringan. Didalam analisis aliran daya, bus-bus dikelompokkan dalam tiga klasifikasi (Grainger dan Stevenson, 1994) yaitu:

a. *Slack bus* atau *swing bus*.

Besaran yang diketahui dalam slack bus adalah V dan δ (sudut phasanya).

Selama perhitungan aliran daya. Besaran V dan δ akan tetap dan tidak berubah.

Slack bus berfungsi untuk memenuhi kekurangan daya seluruhnya, karena rugi-rugi saluran tidak dapat diketahui sebelum perhitungan selesai.

b. *Voltage controlled bus*.

Pada *voltage controlled bus*, besaran P dan V sudah diketahui.

c. *Load bus*

Pada load bus atau bus beban, besaran P & Q sudah diketahui.

Setiap bus memiliki empat besaran, dari setiap besaran yang ada hanya dua besaran yang ditentukan, sedangkan dua besaran lainnya merupakan hasil akhir dari perhitungan. *Slack bus* berfungsi untuk menyuplai kekurangan daya real P dan daya reaktif Q pada system.

Pada jaringan sistem tenaga listrik impedansi-impedansi persamaan aliran daya, dayanya diubah menjadi admitansi-admitansi dalam satuan perunit pada dasar MVA (Saadat, 1999).

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

Daya aktif dan daya reaktif pada bus I adalah:

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad \dots \dots \dots (2-2)$$

Dimana:

I_i = arus pada bus i

V_i = tegangan pada bus i

P_i = daya aktif pada bus i

Q_i = daya reaktif pada bus i

y_{ij} = admitansi pada bus i

Substitusi untuk I_i pada persamaan (2-2), hasilnya:

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j, j \neq i \quad \dots \dots \dots (2-3)$$

Dari hubungan diatas formulasikan perhitungan dari aliran daya dalam sistem tenaga harus diselesaikan dalam teknik iterasi.

2.4.1 Analisis Aliran Daya Metode Newton-Raphson

Metode Newton Raphson memiliki perhitungan lebih baik dari pada metode lainnya. Metode ini lebih efisien dan praktis untuk digunakan pada sistem tenaga yang besar. Jumlah iterasi yang dibutuhkan untuk memperoleh pemecahan ditentukan berdasarkan ukuran sistem. Dalam metode ini persamaan aliran daya dirumuskan dalam bentuk polar.

Untuk arus yang memasuki bus i ditulis dengan persamaan (Saadat,1999):

$$I_i = \sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_j| \angle (0_{ij} + \delta_j) \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

Daya kompleks pada bus i adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i I_i \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

Substitusi persamaan (2-4) kedalam persamaan (2-5) menghasilkan

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle \delta_i \left(\sum_{j=1}^n |y_{ij}| |V_j| \angle (0_{ij} + \delta_j) \right) \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

Dengan memisahkan bagian nyata dan imajiner, maka diperoleh persamaan daya aktif dan reaktif pada bus I sebagai berikut:

1) Persamaan daya aktif pada bus i, yaitu:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos (\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

2) Persamaan daya reaktif pada bus i, yaitu:

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin (\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

Persamaan (2-7) dan (2-8) membentuk persamaan aljabar nonlinier dengan variabel sendiri. Besarnya setiap variabel dinyatakan dalam satuan per unit.

Matrik Jacobian memberikan perbandingan linear antara perubahan pada sudut tegangan $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan besarnya tegangan $\Delta |V_n^{(k)}|$ dengan sedikit perubahan pada daya reaktif $\Delta P_2^{(k)}$ dan daya reaktif $\Delta Q_2^{(k)}$. Dalam bentuk singkat dapat ditulis seperti berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

Banyaknya elemen matriks jacobian dari persamaan (2-10) ditentukan dengan $(2n-2-m) \times (2n-2-m)$ dengan n merupakan banyaknya bus pada sistem. Pada m merupakan banyaknya voltage controlled busses sistem J_1 diperoleh $(n-1) \times (n-1)$, J_2 diperoleh dari $(n-1) \times (n-1-m)$, J_3 diperoleh dari $(n-1-m) \times (n-1)$ dan J_4 diperoleh dari $(n-1-m) \times (n-1-m)$.

Harga dari $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ berbeda antara yang terjadwal dengan nilai perhitungan, dan ini disebut sisa daya (power residual) yang diberikan dengan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{dik} - P_i^{(k)} \dots\dots\dots(2-10)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{dik} - Q_i^{(k)} \dots\dots\dots(2-11)$$

Perhitungan untuk sudut fasa dan tegangan bus yaitu:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots\dots\dots(2-12)$$

dengan:

$\delta_i^{(k)}$ = sudut fasa tegangan lama

$\delta_i^{(k+1)}$ = sudut fasa tegangan baru.

2.4.2 Rugi-Rugi Daya Pada Saluran

Pada dasarnya, Arus yang mengalir dari bus I ke bus j diperoleh dengan persamaan berikut ini (cekdin, 2010):

$$I_{ij} = (V_i - V_j)Y_{ij} + V_i \frac{Y_{ij}}{2} \dots\dots\dots(2-13)$$

dimana:

I_{ij} = Arus dari bus i ke j.

V_i = Tegangan pada bus i.

V_j = Tegangan pada bus j.

Y_{ij} = Admitansi saluran dari bus i ke bus j.

Y_{ij} = Admitansi line charging total

$V_i \frac{Y_{ij}}{2}$ = arus yang mengalir pada bus akibat adanya line charging ke tanah.

Daya yang mengalir dari bus I ke bus j diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots(2-14)$$

dimana:

P_{ij} = Daya aktif pada saluran dari bus i ke bus j.

Q_{ij} = Daya reaktif pada saluran dari bus i ke bus j.

Sebaliknya, arus yang mengalir dari bus j ke bus I diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$I_{ji} = (V_j - V_i)Y_{ij} + V_j \frac{Y_{ji}}{2} \dots\dots\dots(2-15)$$

dimana:

I_{ij} = Arus dari bus j ke i.

V_i = Tegangan pada bus i.

V_j = Tegangan pada bus j.

Y_{ji} = Admitansi saluran dari bus j ke bus i.

Y'_{ji} = Admitansi line charging total.

$V_i \frac{Y'_{ij}}{2}$ = arus yang mengalir pada bus akibat adanya line charging ke tanah.

Sebaliknya juga, daya yang mengalir dari bus j ke bus i diperoleh dengan persamaan berikut ini:

$$S_{ji} = P_{ij} + jQ_{ij} = V_i \cdot I_{ij}^* \dots\dots\dots(2-16)$$

dimana:

P_{ij} = Daya aktif pada saluran dari bus i ke bus j.

Q_{ij} = Daya reaktif pada saluran dari bus i ke bus j.

Rugi-rugi daya pada saluran tranmisi i-j adalah aljabar dari persamaan (2-14) dengan persamaan (2-17). sehingga persamaan rugi-rugi daya pada saluran i-j seperti berikut ini:

$$S_{Lij} = S_{ij} + S_{ji} \dots\dots\dots(2-17)$$

dengan :

S_{Lij} = Rugi-rugi daya pada saluran i-j (MVA).

S_{ij} = Daya yang mengalir dari bus i ke j.

S_{ji} = Daya yang mengalir dari bus j ke i.

Dalam proses penyaluran tenaga listrik, baik pada sistem transmisi maupun pada sistem distribusi sering kali terjadi rugi-rugi daya yang cukup besar. Hal ini diakibatkan oleh panjang saluran.

2.5 Optimasi

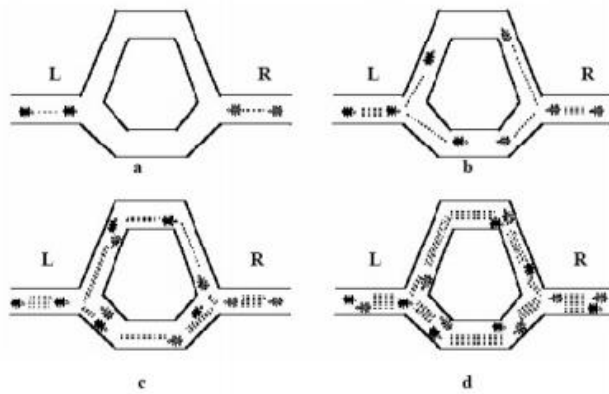
Optimasi merupakan suatu perkembangan metode pencarian solusi terbaik dalam keteknikan saat ini yang semakin berkembang. Ada banyak proses optimasi dapat menemukan solusi dari masalah lingkup kecil hingga skala besar. Solusi ini bersifat ilmiah karena tersusun secara beraturan menggunakan algoritma. Menurut Berlianty dan Arifin (2010), optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih objektif pada suatu masalah sampai tidak dapat ditemukan lagi solusi ekstrim.

2.6 Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo, et.al, 1996). Semut mampu mengindera lingkungannya yang kompleks untuk mencari makanan dan kemudian kembali ke sarangnya dengan meninggalkan zat *Pheromone* pada rute-rute yang mereka lalui.

Secara informal, ACO bekerja sebagai berikut : Setiap semut memulai tournya melalui sebuah titik yang dipilih secara acak (setiap semut memiliki titik awal yang berbeda). Secara berulang kali, satupersatu titik yang ada dikunjungi oleh semut dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah tour. Pemilihan titik-titik yang akan dilaluinya didasarkan pada suatu fungsi probabilitas, dinamai aturan transisi status (*state transition rule*), dengan mempertimbangkan *visibility* (invers dari jarak) titik tersebut dan jumlah *Pheromone* yang terdapat pada ruas yang menghubungkan titik tersebut. Semut lebih suka untuk bergerak menuju ke titik-titik yang dihubungkan dengan ruas yang pendek dan memiliki tingkat *Pheromone* yang tinggi (Dorigo, M., dan Gambardella, L. M., 1997). Setiap semut memiliki sebuah memori, dinamai *tabulist*, yang berisi semua titik yang telah dikunjunginya pada setiap tour. *Tabulist* ini mencegah semut untuk mengunjungi titik-titik yang sebelumnya telah dikunjungi selama tour tersebut berlangsung, yang membuat solusinya mendekati optimal.

Setelah semua semut menyelesaikan tour mereka dan *tabulist* mereka menjadi penuh, sebuah aturan pembaruan *Pheromone global* (*global Pheromone updating rule*) diterapkan pada setiap semut. Penguapan *Pheromone* pada semua ruas dilakukan, kemudian setiap semut menghitung panjang tour yang telah mereka lakukan lalu meninggalkan sejumlah *Pheromone* pada *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour* mereka yang sebanding dengan kualitas dari solusi yang mereka hasilkan. Semakin pendek sebuah tour yang dihasilkan oleh setiap semut, jumlah *Pheromone* yang ditinggalkan pada *edge-edge* yang dilaluinya pun semakin besar. Dengan kata lain, *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour-tour* terpendek adalah *edge-edge* yang menerima jumlah *Pheromone* yang lebih besar. Hal ini menyebabkan *edge-edge* yang diberi *Pheromone* lebih banyak akan lebih diminati pada *tour-tour* selanjutnya, dan sebaliknya *edge-edge* yang tidak diberi *Pheromone* menjadi kurang diminati. Dan juga, rute terpendek yang ditemukan oleh semut disimpan dan semua *tabulist* yang ada dikosongkan kembali. Peranan utama dari penguapan *Pheromone* adalah untuk mencegah *stagnasi*, yaitu situasi dimana semua semut berakhir dengan melakukan tour yang sama. Proses di atas kemudian diulangi sampai *tour-tour* yang dilakukan mencapai jumlah maksimum atau sistem ini menghasilkan perilaku *stagnasi* dimana sistem ini berhenti untuk mencari solusi alternatif.



Gambar 2.3. Perjalanan semut dari sarang ke sumber makanan.

Sumber:Dorigo(1996)

Gambar 2.3.a menunjukkan ada dua kelompok semut yang akan melakukan perjalanan. Satu kelompok bernama L yaitu kelompok yang berangkat dari arah kiri yang merupakan sarang semut dan kelompok lain yang bernama kelompok R yang berangkat dari kanan yang merupakan sumber makanan. Kedua kelompok semut dari titik awal keberangkatan sedang dalam posisi pengambilan keputusan sebelah

mana yang akan diambil. Kelompok semut L membagi dua kelompok lagi. Sebagian melalui jalan atas dan sebagian melalui jalan bawah. Hal ini juga berlaku pada kelompok semut R. Gambar 2.3.b dan gambar 2.3.c menunjukkan bahwa kelompok semut berjalan pada kecepatan yang sama dengan meninggalkan Pheromone (jejak kaki semut) di jalan yang telah dilalui. Pheromone yang ditinggalkan oleh semut - semut yang melalui jalan atas telah mengalami banyak penguapan karena semut yang melalui jalan atas berjumlah lebih sedikit dari pada jalan yang di bawah. Hal ini dikarenakan jarak yang ditempuh lebih panjang daripada jalan bawah. Sedangkan Pheromone yang berada di jalan bawah, penguapannya cenderung lebih lama. Karena semut yang melalui jalan bawah lebih banyak daripada semut yang melalui jalan atas. Gambar 2.3.d menunjukkan bahwa semut-semut yang lain pada akhirnya memutuskan untuk melewati jalan bawah karena Pheromone yang ditinggalkan masih banyak. Sedangkan Pheromone pada jalan atas sudah banyak menguap sehingga semut-semut tidak memilih jalan atas tersebut. Semakin banyak semut yang melalui jalan bawah maka semakin banyak semut yang mengikutinya.

2.6.1 Ant System (AS)

Algoritma *Ant System* adalah algoritma *Ant Colony Optimization* pertama yang dirumuskan dan diuji untuk menyelesaikan suatu masalah, algoritma ini tersusun atas sejumlah m semut yang bekerja sama dan berkomunikasi secara tidak langsung melalui komunikasi *pheromone*. Secara informal, ant system bekerja: setiap semut memulai tournya melalui sebuah titik yang dipilih secara acak, secara berulang kali, satu persatu titik yang ada dikunjungi oleh semut dengan tujuan untuk menghasilkan sebuah tour. Pemilihan titik-titik yang akan dilaluinya didasarkan pada suatu fungsi probabilitas, dinamai aturan transisi status, dengan mempertimbangkan invers dari jarak titik tersebut dan jumlah *pheromone* yang terdapat pada ruas yang menghubungkan titik tersebut. Semut lebih suka untuk bergerak menuju titik-titik yang dihubungkan dengan ruas yang pendek dan memiliki tingkat *pheromone* yang tinggi. Setiap semut memiliki sebuah memori, dinamai *tabulist*, yang berisi semua titik yang telah dikunjunginya pada setiap *tour*. *Tabulist* ini mencegah semut untuk mengunjungi titik-titik yang sebelumnya telah dikunjungi selama *tour* tersebut berlangsung, yang membuat solusinya mendekati optimal. Setelah semua semut menyelesaikan *tour* mereka dan *tabulist* mereka menjadi penuh, sebuah aturan pembaruan *pheromone global* diterapkan pada setiap semut, penguapan *pheromone* pada semua ruas dilakukan, kemudian setiap semut menghitung panjang *tour* yang telah mereka lakukan lalu meninggalkan sejumlah *pheromone edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour* mereka yang sebanding dengan kualitas dari solusi yang mereka hasilkan. Semakin pendek sebuah *tour* yang dihasilkan oleh setiap semut, jumlah *pheromone* yang ditinggalkan pada *edge-edge* yang dilaluinya pun semakin besar. Dengan kata lain, *edge-edge* yang merupakan bagian dari *tour-tour* terpendek adalah *edge-edge* yang diberi *pheromone* lebih banyak akan lebih diminati pada *tour-tour* selanjutnya, dan sebaliknya *edge-edge* yang tidak diberi *pheromone* menjadi kurang diminati. Dan juga rute terpendek yang ditemukan oleh semut disimpan dan semua *tabulist* yang ada dikosongkan kembali. Peranan utama dari penguapan *pheromone* adalah untuk mencegah stagnasi, yaitu situasi dimana semua semut berakhir dengan melakukan *tour* yang sama. Proses diatas kemudian diulangi sampai *tour-tour* yang dilakukan mencapai jumlah maksimum atau sistem ini menghasilkan perilaku stagnasi dimana sistem ini berhenti untuk mencari solusi alternatif. (Dorigo, Marco, 1996).

2.6.2 Max-Min Ant System (MMAS)

Max-Min Ant System adalah pengembangan dari algoritma *Ant System* selanjutnya, dengan beberapa perubahan utama. Berikut empat perubahan utama didalam *Max-Min Ant System* terhadap *Ant System*:

Pertama penambahan pheromone bias dilakukann pada edge-edge yang merupakan bagian dari tour terbaik yang ditemukan sejak awal algoritma (*best-far-tour*) atau pada tour terbaik yang ditemukan pada iterasi tersebut (*iteration-best-tour*). Bisa juga penambahan *pheromone* pada keduanya, *best so-far-tour* dan iterasi *best tour* sekaligus. Tetapi, strategi ini memungkinkan terjadinya stagnasi yang menyebabkan semua semut melalui jalur yang sama, karena pemberian *pheromone* yang berlebihan pada *edge*, meskipun bagian dari *tour* yang terbaik.

Kedua, untuk mengatasi masalah pada perubahan pertam, maka *Max-Min Ant system* memberikan batasan dalam pemberian nilai *pheromone* dengan interval $[T_{min}T_{max}]$.

Ketiga, menginisialisasi *pheromone* dengan batas ats nilai *pheromone*, yang mana bersama dengan tingkat evaporasi *pheromone* yang kecil, meningkatkan aksplorasi tour sejak dimulainya pencarian.

Keempat, *pheromone* diinisialisasi kembali pada saat terjadi stagnasi atau ketika tidak ditemukan tour yang sesuai dengan iterasi yang diinginkan. (Stutzle, T., da Hoos, H. H. 1997).

Pembatasan nilai *pheromone* karena situasi stagnasi yang terlalu dini harus dihindari. Hal ini bergantung secara langsung pada jejak *pheromone* dan informasi heuristic. Kondisi stagnasi adalah kondisi dimana algoritma berhenti mencari solusi disetiap iterasinya. Kasus ini terjadi dikarenakan semut-semut membuat konstruksi jalur yang sama. Oleh karena itu, dengan membatasi pengaru dari jejak *pheromone*, algoritma bias menghindari perbedaan jejak *pheromone* yang relative extreme Selma proses runningnya. etelah semua semut menyelesaikan tour-nya masing – masing maka Pheromone di-update. Dalam Ant System, aturan pembaruan Pheromone global (Dorigo, M., Maniezzo, V., dan Colorni, A., 1996) diimplementasikan menurut persamaan 2-20 sebagai berikut :

$$\tau_{rs} (1 - \rho) \tau_{rs} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\text{dengan } \Delta \tau_{rs}^k = 1/C^k \text{ (jika } r,s \in \text{tour yang dilakukan oleh semut } k \dots \dots (2.21)$$

Dimana

$$\tau_{rs} = \text{Pheromone global}$$

C^k = panjang tour yang dilalui oleh semut k . $0 < \rho \leq 1$ adalah sebuah parameter tingkat evaporasi Pheromone, dan m adalah jumlah dari semut.

Untuk memastikan bahwa semut mengunjungi n titik yang berbeda, diberikan tabu list pada masing – masing semut, yaitu sebuah struktur data yang menyimpan titik – titik yang telah dikunjungi semut dan melarang semut mengunjungi kembali titik – titik tersebut sebelum mereka menyelesaikan sebuah tour. Ketika sebuah tour selesai, tabulist digunakan untuk menghitung solusi yang ditemukan semut pada tour tersebut. Tabulist kemudian dikosongkan dan semut kembali bebas memilih titik tujuannya pada tour berikutnya. Tabuk adalah tabu list untuk semut k . Tabuk (r) adalah elemen ke- r dari Tabuk, yaitu titik ke- r yang dikunjungi semut k pada suatu tour.

2.6.3 Metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (Marco, 2006)

Metode optimisasi yang digunakan pada makalah ini adalah metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (ACOCD). ACOCD merupakan metode pengembangan dari *Ant Colony Optimization* (ACO) Metode ini terinspirasi oleh perilaku koloni semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju makanan. ACO merupakan teknik probabilistik untuk menyelesaikan masalah komputasi dengan menemukan jalur terbaik melalui grafik. Metode ACO hanya dapat digunakan pada domain diskret, oleh karena itu pada tahun 2006 Marco Dorigo mengembangkan penelitiannya untuk ACO pada domain kontinu.

Pada kasus ACOCD, informasi feromon disimpan sebagai arsip solusi. Ini menyiratkan bahwa feromon prosedur pembaruan harus melakukan beberapa formulir pembaruan pada arsip. Pembaruan feromon dilakukan dengan menambahkan set solusi yang baru dibuat untuk solusi arsip T dan kemudian hapus nomor yang sama solusi terburuk, sehingga ukuran total arsip tidak berubah. Proses ini memastikan bahwa hanya solusi terbaik disimpan dalam arsip, sehingga mereka memandu semut secara efektif dalam proses pencarian.

ACOCD terdiri dari dua tahap yaitu tahap pra iterasi dan tahap iterasi. Pada saat pra iterasi Pada tahap ini semua parameter ACOCD dimasukkan lalu semut awal akan memulai pencarian posisi yang terbaik pada setiap variabel dan di akhir pencarian akan menghasilkan nilai fungsi objektif pada akhir pencarian. Semua solusi dari semut awal akan diurutkan berdasarkan nilai dari yang terburuk hingga yang terbaik, lalu bobot setiap solusi (ω) akan dihitung dengan probabilitas seleksi dari setiap solusi akan dihitung dengan formula pada Persamaan:

$$p_l = \frac{\omega_l}{\sum_{r=1}^k \omega_r} \dots\dots\dots(2-22)$$

Dimana,

ω_l = bobot setiap solusi

ω_r = bobot semua solusi

p_l = probabilitas setiap solusi

Pada saat tahap iterasi merupakan looping utama dari algoritma ACOCD. Solusi semut awal yang telah disimpan sebagai arsip, pada tahap ini digunakan sebagai acuan untuk posisi semut baru yang akan di bangkitkan. selanjutnya membangkitkan semut baru sejumlah n yang kemudian akan memilih lintasannya sendiri berdasarkan arsip yang akan di tiru untuk setiap variabel. Solusi awal yang telah dipilih akan membentuk solusi baru.

2.7 Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Particle swarm optimization merupakan metode metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku sosial binatang seperti kawanan burung dan ikan. Ketika mencari mangsa, kawanan burung tersebut bergerak bersama-sama, tanpa ada yang mengkoordinasi, tetapi pergerakannya memiliki derajat keteraturan tertentu. Reynold (1987) memperkenalkan model perilaku sosial yang mengikuti tiga aturan sebagai berikut :

- Separation*: setiap individu akan berusaha untuk saling menjauh jika merasa terlalu dekat dengan individu lainnya.
- Alignment* : setiap individu memiliki kecenderungan untuk bergerak kearah individu sebelahnya
- Cohesion*: setiap individu berusaha untuk bergerak ditengah-tengah individu tetangganya.

Didalam PSO, individu sering disebut dengan partikel. Cara kerja PSO tersusun atas tiga bagian yaitu (Bergh, 2001):

- Mengevaluasi nilai *fitness* tiap partikel.
- Mengupdate nilai *fitness* dan posisi individu terbaik (global best)
- Mengupdate kecepatan dan posisi tiap partikel.

Algoritma PSO yang standar dapat dituliskan seperti pada persamaan 2-22 dan persamaan 2.24.

$$V_i(t+1) = W_i + C1 \cdot \text{rand} (P_i - X_i(t)) + C2 \cdot \text{Rand}(P_g - X_i(t)) \dots\dots\dots(2-23)$$

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \dots\dots\dots(2-24)$$

Dimana:

$X_i(t)$ dan $V_i(t)$	= posisi dan kecepatan partikel saat ini
$X_i(t + 1)$ dan $V_i(t + 1)$	= posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya
$C1$ dan $C2$	= konstanta cognitive dan sosial acceleration
rand	= nilai random yang terdistribusi antara 0 dan 1
P_i	= posisi terbaik dari partikel itu sendiri
P_g	= posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada

2.7.1 Metode *Improved Particle Swarm Optimization*

Metode *improved particle Swarm Optimization* merupakan modifikasi dari persamaan dasar algoritma standar. *Particle Swarm Optimization* adalah salah satu dari teknik komputasi evolusioner yang berdasarkan pada penelusuran algoritma yang diawali dengan suatu populasi yang random yang disebut dengan particle. Berbeda dengan teknik komputasi evolusioner lainnya, setiap partikel didalam PSO juga berhubungan dengan *velocity*. Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan *velocity* yang dinamis disesuaikan menurut perilaku historisnya. Oleh karena itu, partikel-partikel mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses penelusuran. Pada algoritma PSO, nilai *velocity* di-update untuk masing-masing particle kemudian menjumlahkan nilai tersebut. Update nilai *velocity* dipengaruhi oleh kedua solusi yaitu *global best* yang berhubungan dengan losses yang paling rendah yang pernah diperoleh dari suatu partikel dan solusi *local best* yang berhubungan dengan losses yang paling rendah pada populasi awal. Jika solusi local best mempunyai suatu losses yang kurang dari losses solusi global yang ada, maka solusi *local best* menggantikan solusi *global best*. Pada PSO standar, kecepatan partikel diupdate terlalu cepat dan nilai minimum fungsi tujuan yang dicari sering terlewat. Sehingga perlu dilakukan perbaikan terhadap PSO standar, salah satunya dengan menambahkan suatu term inersia untuk mengurangi kecepatan pada formula update kecepatan. Biasanya nilai sedemikian rupa sehingga semakin besar iterasi yang dilalui, semakin mengecil kecepatan partikel.

Adapun persamaan IPSO dengan menggunakan *Inertia Weight Aproach* (IWA):

$$V_{id}^{k+1} = W V_{id}^k + c_1 \text{rand}_1 (P_{best}_i^k - X_{id}^k) + c_2 \text{rand}_2 (G_{best}^k - X_{id}^k) \dots\dots\dots (2-25)$$

dimana

V_{id}^k : velocity individu I pada iterasi k

V_{id}^{k+1} : Update velocity pada iterasi selanjutnya

W : parameter weight

$c_1 c_2$: koefisien akselerasi

$rand_1$: jumlah random antara 0 dan 1

X_{id}^k : posisi individu i pada iterasi k

$Pbest_i^k$: Pbest individu i sampai iterasi k

$Gbest_i^k$: Gbest kelompok i sampai iterasi k

Penggunaan IWA yakni untuk meredam kecepatan selama iterasi, yang memungkinkan suatu swarm menuju titik target secara lebih akurat dan efisien dibandingkan dengan PSO standarnya. Pada proses update velocity ini, nilai-nilai parameter seperti W , c_1 dan c_2 harus ditentukan terlebih dahulu. Secara umum parameter weight diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$w_{it} = w_{max} - \frac{(w_{max} - w_{min}) * it}{it_{max}} \dots\dots\dots (2-26)$$

Dimana:

w_{max} = koefisien *inertia weight* maksimal.

w_{min} = koefisien *inertia weight* minimal

it = iterasi yang selalu berubah dari 1,2,... it_{max}

it_{max} = nilai maksimal dari iterasi yang digunakan

Particle berpindah dari posisi awal ke posisi berikutnya dengan memodifikasi posisi individu menggunakan modifikasi *velocity* pada persamaan. Persamaan update posisi individu dinyatakan pada persamaan:

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \dots\dots\dots (2-27)$$

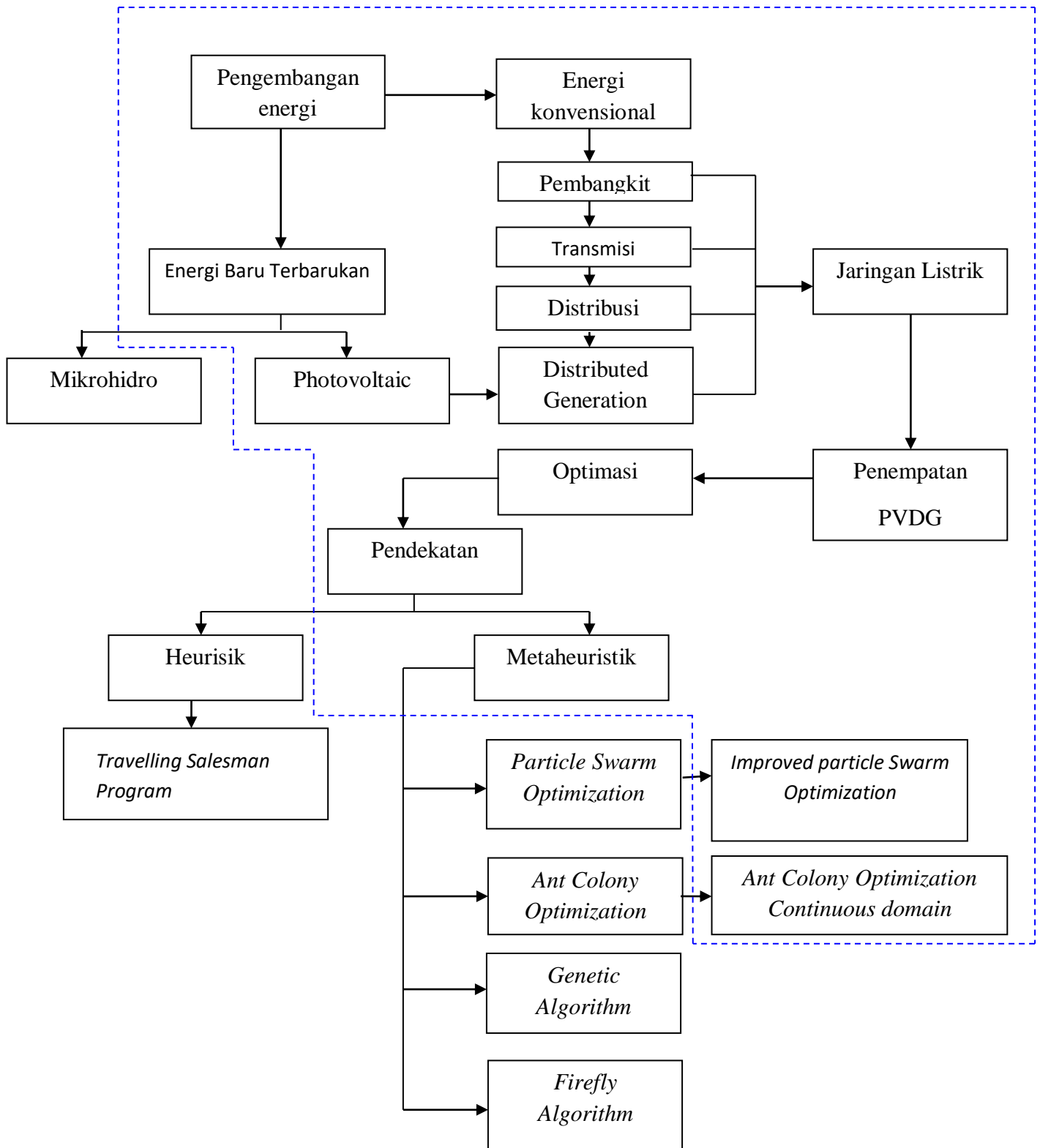
Didalam IPSO konsep optimasi didasarkan pada *chaotic sequences* yang menjadi suatu alternatif yang baik untuk menyediakan keanekaragaman didalam populasi dari algoritma IPSO.

BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Berfikir

Pengembangan energi merupakan suatu upaya untuk memanfaatkan energi agar tetap berlangsung untuk masa depan. Energi baru terbarukan saat ini terus dikembangkan menjadi energi alternatif. Energi alternatif dibutuhkan untuk menyuplai energi listrik yang dapat digabungkan menjadi sumber energi terdistribusi sebagai pembangkit tersebar (DG). Salah satu penggunaan energi baru terbarukan yaitu energi sinar matahari atau *photovoltaic* (PV). Pembangkit tersebar *photovoltaic* (PVDG) berperan sebagai sumber daya tambahan untuk sistem distribusi tenaga, dengan memperhatikan alokasi kebutuhan, topografi wilayah, banyaknya penduduk atau konsumen dan lokasi penempatannya. Penempatan lokasi PVDG harus sesuai dengan skenario penempatan optimal. Maka dari itu perlu dilakukan proses optimasi agar rugi-rugi daya berkurang akibat penambahan jumlah beban.

Masalah optimasi dapat diselesaikan menggunakan solusi secara pendekatan baik itu pendekatan metode heuristik maupun metaheuristik. metode heuristik bersifat *problem dependent* sedangkan metode metaheuristik bersifat *problem independent*. *Problem dependent* artinya bergantung pada permasalahan, jadi metode heuristik itu hanya bisa dipakai untuk jenis permasalahan tertentu. Sedangkan *problem independent* bisa dipakai untuk berbagai jenis permasalahan. Contoh dari metode metaheuristik adalah *algoritma genetik* (GA), *particle swarm optimization* (PSO), *Ant Colony Optimization* (ACO). Metode PSO dan ACO dipilih pada penelitian ini, karena proses optimasinya yang cepat dan akurat. Metode ACO dan PSO berkembang seiring berjalannya waktu dan menjadikan kedua metode ini berkembang lebih baik, sehingga pada penelitian ini menggunakan metode *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO) dan *Ant Colony Optimization Continu Domain* (ACOCD) untuk mencari solusi dan performansi yang lebih baik. Secara umum konsep tentang optimisasi penempatan PVDG menggunakan metode ACOCD dan IPSO ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kerangka Berpikir Penelitian

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini akan digunakan dua variable yakni lokasi injeksi dan ukuran kapasitas daya PVDG. Variabel menggunakan beberapa parameter yang meliputi :

- 1) Analisis aliran daya menggunakan metode Newton Rapson parameternya adalah tegangan, sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif.
- 2) Optimasi menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* parameternya adalah rugi-rugi daya aktif (*P Losses*).
- 3) Optimasi menggunakan metode *Improved Particle Swarm Optimization* parameternya adalah rugi-rugi daya aktif (*P Losses*).

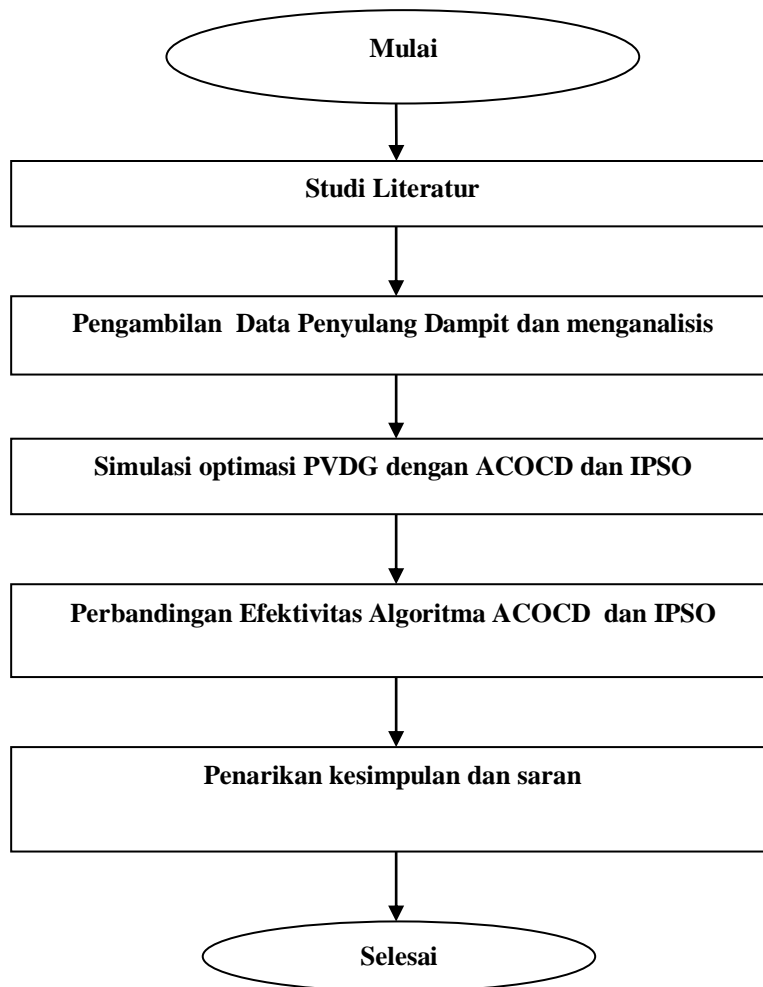
3.3 Hipotesis

Pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan analisis. Analisis aliran daya dengan menggunakan metode *Newton Rapson* diharapkan dapat menentukan profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang. Besarnya nilai drop tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan akan menentukan besarnya ukuran kapasitas PV yang akan diinjeksikan pada jaringan sesuai dengan skenario yang ditentukan. Penggunaan optimasi *Ant Colony Optimization Continuous Domain* dan *Improved Particle Swarm Optimization* diharapkan mampu menentukan pilihan terbaik lokasi injeksi daya PV dan ukuran optimal kapasitas daya PV.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan studi perbandingan antara 2 algoritma metaheuristik untuk optimasi kapasitas dan lokasi injeksi PVDG. Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur, pengambilan data penyulang dampit, simulasi optimisasi dengan ACOCD dan IPSO, perbandingan efektivitas algoritma ACOCD dan IPSO, serta penarikan kesimpulan dan saran. Adapun uraian dari alur penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada gambar 4.1:



Gambar 4.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Gambar 4.1 menjelaskan diagram alir metodologi penelitian sebagai berikut:

- 1) Studi literatur pada penelitian ini mengoptimalkan penentuan lokasi injeksi dan ukuran kapasitas daya PVDG pada penyulang 20 kV.
- 2) Data penyulang yang digunakan adalah penyulang 20 kV Dampit Kabupaten Malang. Data yang digunakan yaitu data kapasitas daya gardu distribusi, data pembebanan gardu distribusi, data saluran penyulang, data trafo pada gardu induk, dan data generator.

- 3) Analisis aliran daya (sebelum injeksi) yaitu menggunakan metode *Newton-raphson* dengan memperhitungkan pembebanan beban maksimum (100%), beban minimum (40%) dan beban rata-rata (70%). Pemilihan satu skenario berdasarkan hasil analisis aliran daya dengan mempertimbangkan nilai rugi-rugi daya terbesar dan penurunan tegangan tertinggi menjadi pilihan kondisi data beban untuk melanjutkan pada tahap berikutnya.
- 4) Simulasi optimisasi menggunakan metode *Improved Particle Swarm Optimization* dan *Ant Colony Optimization continous domain* dari data hasil tahap 3. Optimasi dilakukan dengan konsep peningkatan nilai injeksi daya yang dihitung dari sumber pembangkitan awal.
- 5) Optimasi IPSO dan ACOCD menghasilkan nilai kapasitas daya PVDG beserta bus lokasi injeksi. Menganalisa efensiensi diantara ACOCD dan IPSO yang menunjukkan perfomansi yang lebih baik untuk kasus optimasi penempatan PVDG pada jaringan distribusi
- 6) Kesimpulan yaitu memberikan penilaian secara kualitatif berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dalam menjawab permasalahan yang telah dirumuskan dan mencapai tujuan yang telah ditentukan.

4.1 Studi Literatur

Literatur yang digunakan diperoleh dari berbagai sumber baik dalam bentuk jurnal, *proceedings* maupun buku teks yang relevan dengan pembahasan penelitian ini. Jurnal dan *proceedings* diambil dari jurnal IEEE dan jurnal nasional ataupun internasional, sedangkan buku buku teks diambil yaitu dari buku buku cetak dan e-book, dan lain-lain yang relevan dengan penelitian ini.

4.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data penyulang 20 kV rayon Dampit yang diperoleh dari PT. PLN APJ Malang.

Dalam penelitan ini dilakukan studi perbandingan antara 2 algoritma metaheuristik untuk optimasi penempatan PVDG yaitu *Ant Colony Optimization Continous Domain* (ACOCD) dan *Improved Particle Swarm Optimization* (IPSO).

4.3 Data Penelitian

Optimasi penentuan lokasi dan ukuran daya *photovoltaic distributed generation* (PVDG) menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain* (ACOCD) dan *Improve Particle Swarm Optimization* (IPSO) dilakukan dengan menggunakan data sistem distribusi penyulang dampit tahun 2018 yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) Unit Pelayanan Jaringan (UPJ) Area Malang Jawa Timur. Sistem terinterkoneksi melalui saluran transmisi 70 kV dari gardu induk Turen ke sistem distribusi 20kV sistem ini terdiri dari 73 gardu beserta saluran sesuai lampiran-1.

Pada data intensitas radiasi matahari harian Kabupaten Malang, yang bersumber dari BMKG yang didapatkan selanjutnya disimpulkan dalam bentuk nilai rata-rata harian. Tabel 4.1 menjelaskan datasheet PV yang akan digunakan dalam peletakan injeksi PVDG.

Tabel 4.1 Spesifikasi data modul PV

No.	Spesifikasi (200Wp) Monocrystalline	Nilai	Satuan
1.	Vmp	37.53	V
2.	Imp	5.35	A
3.	Voc	44.2	V
4.	Isc	5.50	A
5.	Modul Efficiency	15%	-
6.	Pmax	200	W
7.	Operating Module Temperature	-40 to 85	°C
8.	Maximum System Voltage	1000	V
9.	Maximum Series fuse Rating	20	A
10.	Power Tolerance	20	W
11.	No. of Cells	72(6x12)	-
12.	Dimensi	1576x806x50	Mm
13.	Berat	16.5	Kg
14.	NOCT	45 2	°C
15.	Temperature Coef. Of Power	-0.41	%/°C
16.	Temperature Coef. Of Voc	-0.31	%/°C
17.	Temperature Coef. Of Isc	0.047	%/°C
18.	Output Cables	UL 44.4	mm ²
STC : Irradiance 1000 W/m ² , module temperature 25 °C, AM=1.5;			

No.	Spesifikasi (200Wp) Monocrystalline	Nilai	Satuan
<i>Power measurement tolerance : ± 3 %</i>			

Sumber : PT. Len Indonesia

4.4 Analisis Aliran Daya

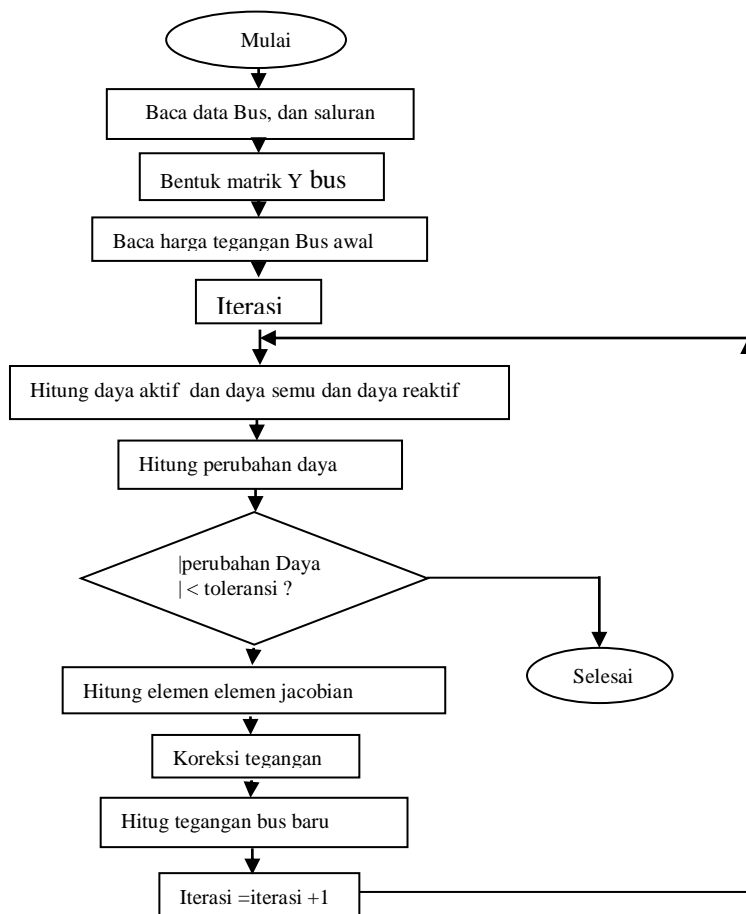
Metode yang digunakan untuk menghitung aliran daya sistem 20 kV Dampit menggunakan Metode *Newton-Raphson*. Analisis aliran daya dengan metode *Newton - Raphson* untuk mendapatkan besar nilai penurunan tegangan dan rugi-rugi daya pada saluran. Prosedur umum aliran daya, pada bus terbeban harga P dan Q ditentukan yaitu V dan δ (sudut fasanya).

4.5 Rancangan Diagram Alir Analisis Daya “*Newton-Raphson*”

Gambar 4.2 menjelaskan *flowchart* analisis daya “*Newton-Raphson* sebagai berikut:

1. Membentuk matrik admintasi [Ybus] dan hitung arus bus I
2. Berikan nilai awal besar tegangan dan sudut tegangan untuk semua tegangan bus beban, dan sudut awal bagi semua sudut tegangan bus generator.
3. Menghitung nilai daya aktif dan daya reaktif serta perubahan daya aktif ΔP dan daya reaktif ΔQ .
4. Apakah ΔP dan nilai ΔQ sudah mencapai nilai yang diinginkan. Jika tidak atau belum lanjutkan ke langkah 5, jika sudah lanjutkan ke langkah 10.
5. Susun matrik jacobian.
6. Menghitung nilai koreksi tegangan dan sudut phasa tegangan tiap bus.
7. Perbaiki tegangan dan sudut phasa tegangan bus yang baru.
8. Lanjutkan perhitungan untuk interaksi berikutnya sampai pada perhitungan langkah 4 mencapai nilai konvergen.
9. Menghitung aliran daya pada saluran
10. Menghitung rugi-rugi daya.
11. Membentuk matrik admintasi [Ybus] dan hitung arus bus I
12. Berikan nilai awal besar tegangan dan sudut tegangan untuk semua tegangan bus beban, dan sudut awal bagi semua sudut tegangan bus generator.

13. Menghitung nilai daya aktif dan daya reaktif serta perubahan daya aktif ΔP dan daya reaktif ΔQ .
14. Apakah ΔP dan nilai ΔQ sudah mencapai nilai yang diinginkan. Jika tidak atau belum lanjutkan ke langkah 5, jika sudah lanjutkan ke langkah 10.
15. Susun matrik jacobian.
16. Menghitung nilai koreksi tegangan dan sudut phasa tegangan tiap bus.
17. Perbaiki tegangan dan sudut phasa tegangan bus yang baru.
18. Lanjutkan perhitungan untuk interaksi berikutnya sampai pada perhitungan langkah 4 mencapai nilai konvergen.
19. Menghitung aliran daya pada saluran
20. Menghitung rugi-rugi daya.



Gambar 4.2 Diagram alir analisis daya “Newton-Raphson”

4.6 Rancangan Diagram Alir metode Optimasi *Ant Colony Optimization Continuos Domain*

Representase problem ACOCD menggunakan variabel. Variabel yang dioptimasi adalah posisi bus referensi yang mempunyai daya injeksi untuk menghitung rugi-rugi daya

terendah, maka Pop semut adalah Pos_{ref} dan yang dibandingkan nilai terbaiknya adalah rugi-rugi daya (P_{losses}). Variabel dari ACOCD yang mengoptimasi injeksi dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2

Representasi problem IPSO Ke Sistem injeksi PVDG

ACOCD	Injeksi PVDG
Populasi semut lama (Pop (i))	Posisi Bus referensi injeksi (Pos_{ref})
npop	Arsip pheromone
<i>Best cost</i>	Losses terbaik setiap iterasi
Posisi terbaik (<i>BestSol</i>)	Posisi bus injeksi yang menghasilkan losses terbaik partikel (<i>Bestsol_i</i>)

Selanjutnya pada gambar 4.3 menjelaskan diagram alir optimasi PVDG menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization Continuous Domain* dengan langkah penyelesaian berikut:

1. Tahap pra-iterasi ACOCD adalah tahapan yang dilakukan sebelum dimulai dengan mendeklarasikan nilai fitness, kemudian menentukan parameter ACOCD dan proses semut awal yang akan digunakan sebagai *archive* dalam proses iterasi oleh semut baru. Pada tahap ini semua parameter ACOCD dimasukkan lalu semut awal akan memulai pencarian posisi yang terbaik pada setiap variabel dan di akhir pencarian akan menghasilkan nilai fungsi *losses* pada akhir pencarian. Semua solusi dari semut awal akan diurutkan berdasarkan nilai *losses* dari yang terburuk (besar) hingga yang terbaik (kecil), lalu bobot setiap solusi (ω) akan dihitung dengan probabilitas seleksi dari setiap solusi akan dihitung dengan formula pada Persamaan:

$$p_l = \frac{\omega_l}{\sum_{r=1}^k \omega_r} \dots\dots\dots(4-1)$$

Dimana,

ω_l = bobot setiap solusi

ω_r = bobot semua solusi

p_l = probabilitas setiap solusi

2. Tahap iterasi ACOCD. Tahap selanjutnya setelah proses pra-iterasi ACOCD adalah tahap Iterasi ACOCD, tahap ini merupakan *looping* utama dari algoritma ACOCD. Solusi semut awal yang telah disimpan sebagai *archive*, pada tahap ini digunakan sebagai acuan untuk posisi semut baru yang akan di bangkitkan.

selanjutnya membangkitkan semut baru sejumlah n yang kemudian akan memilih lintasannya sendiri berdasarkan *archive* yang akan di tiru untuk setiap variabel. Solusi awal yang telah dipilih akan membentuk solusi baru dengan Persamaan:

$$S_1^i = S_e^i + \sigma_e^i \dots\dots\dots(4-2)$$

Dimana:

S_1^i = Solusi semut baru pada variabel ke- i

S_e^i = Solusi semut awal pada variabel ke- i

σ_e^i = Standar deviasi

Setelah itu semut baru akan melanjutkan pencarian hingga batas iterasi yang telah ditentukan. Pada iterasi berikutnya beberapa bentuk pembaharuan terjadi pada solusi *archive*. Pembaharuan dicapai dengan menambahkan solusi baru yang dihasilkan untuk solusi *archive* kemudian diurutkan sesuai dengan kualitas mereka. Setelah itu menghapus jumlah solusi terburuk akan tetapi jumlah *archive* awal tidak berubah. Pada akhir iterasi, hasil optimasi terbaik akan ditampilkan yaitu posisi PVDG dan nilai losses. Fungsi objektif pada proses optimasi sebagai berikut:

$$f(x) = \min [P_{GEN} + \sum_{i=1}^{Nb} P_{PVDGi}] - \sum_{i=1}^{Nb} P_{LOADi} \dots\dots\dots(4-3)$$

$$\text{Fitness} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{ij}, i \neq j \dots\dots\dots(4-4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{ij} = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{real}(Sloss)_{ij} \dots\dots\dots(4-5)$$

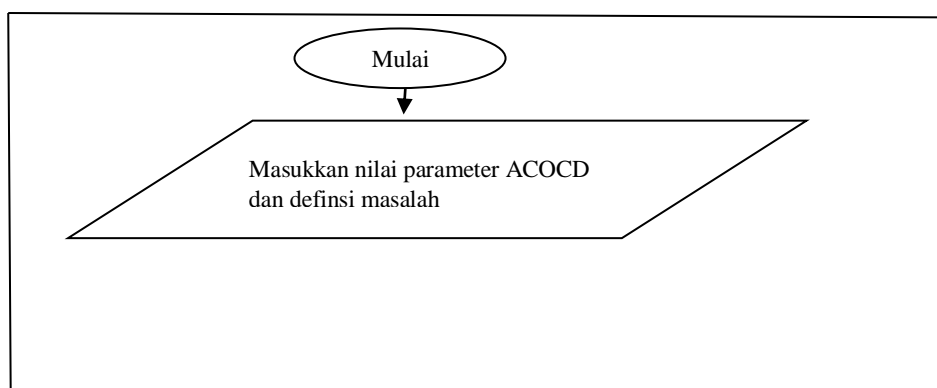
dimana

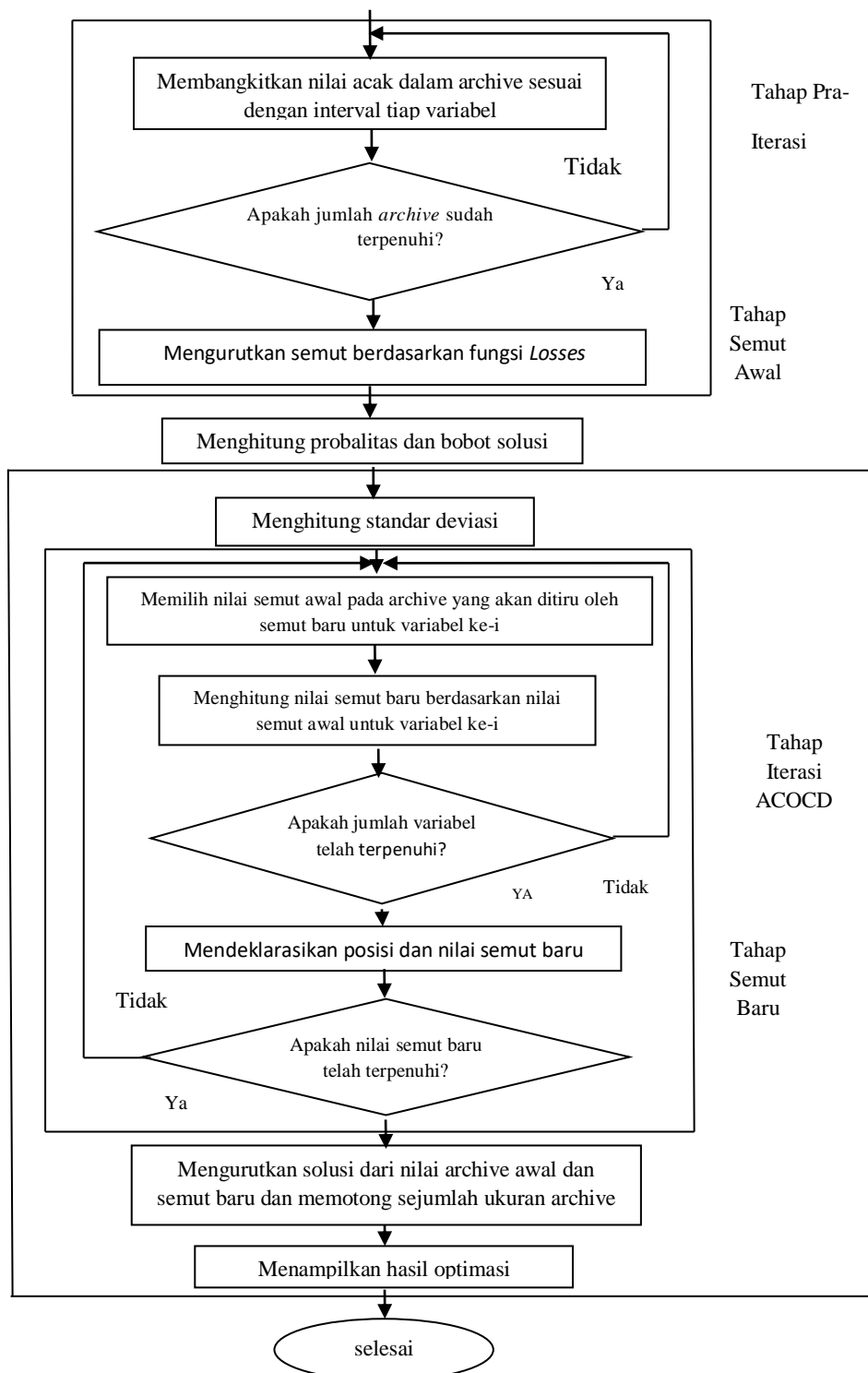
$Ploss_{ij}$ = rugi-rugi daya aktif pada jaringan (MW)

$Sloss_{ij}$ = rugi-rugi daya reaktif pada jaringan (MVA)

n = jumlah bus pada sistem distribusi

dengan meminimumkan fungsi tujuan pada persamaan diatas maka akan didapat kapasitas DG yang optimal.





Gambar 4.3 Diagram alir metode *Ant Colony Optimization Continuous Domain*

4.7 Rancangan Diagram Alir *Improved Particle Swarm Optimization*

Variabel yang dioptimasi adalah posisi bus referensi yang mempunyai daya injeksi untuk menghitung rugi-rugi daya terbaik, maka posisi partikel adalah Pos_{ref} dan

yang dibandingkan nilai terbaiknya adalah rugi-rugi daya (P_{losses}) pada posisi tersebut. Variabel dari IPSO yang mengoptimasi injeksi dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3

Representasi problem IPSO Ke Sistem injeksi PVDG

IPSO	Injeksi PVDG
Posisi partikel (P_i)	Posisi Bus referensi injeksi (Pos_{ref})
Kecepatan partikel (V_i)	Rentang perubahan posisi bus saat partikel berpindah
<i>Best cost</i>	Losses terbaik setiap iterasi
Nilai <i>fitness</i> terbaik partikel	Posisi bus injeksi terbaik partikel ($P_{best,i}$)
Posisi terbaik partikel ($P_{best,i}$)	Posisi bus injeksi yang menghasilkan losses terbaik partikel ($Loss_{best,i}$)
Nilai <i>fitness</i> terbaik global	Posisi bus injeksi terbaik global (P_{Gbest})
Posisi terbaik global (G_{best})	Posisi bus injeksi yang menghasilkan losses terbaik global ($Loss_{Gbest}$)

Pada gambar 4.4 menjelaskan diagram alir optimasi PVDG menggunakan algoritma *Improved Particle Swarm Optimization* dengan langkah penyelesaian berikut:

1. Menentukan ukuran swarm dan menentukan nilai awal posisi dan kecepatan partikel secara random.
2. Menghitung load flow dengan menggunakan metode Newton-Rapshon untuk mencari rugi-rugi daya tiap bus.
3. Mengevaluasi nilai fungsi objektif untuk setiap partikel, fungsi objektif pada penelitian ini adalah menentukan nilai fitness tertinggi yaitu meminimisasi nilai rugi-rugi daya aktif (P).

$$f(x) = \min [P_{GEN} + \sum_{i=1}^{Nb} P_{PVDGi}] - \sum_{i=1}^{Nb} P_{LOADi} \dots\dots\dots(4-6)$$

dimana

P_{Gen} diatas dihitung terhadap analisa aliran daya dan Total $P_{PVDG} = P_{GEN} \times N \%$.

Nilai Fitness terbaik adalah rugi-rugi daya terkecil.

4. Menentukan P_{best} dan G_{best} mula-mula.
5. Menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya dengan persamaan

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \dots\dots\dots(4-7)$$

i = iterasi ;

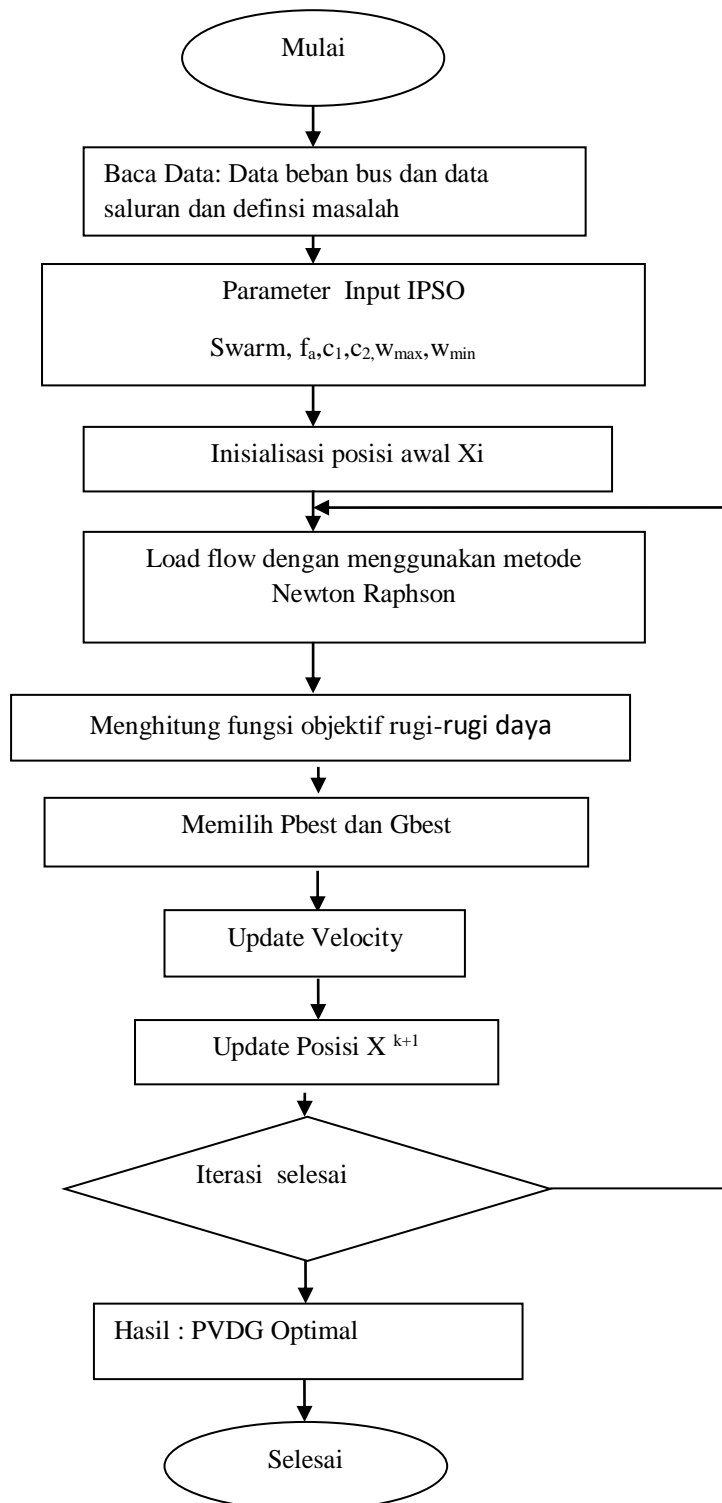
$j = 1, 2, 3, \dots, N$;

r_1 dan r_2 adalah bilangan random.

6. Mementukan posisi partikel pada iterasi berikutnya dengan persamaan:

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \dots\dots\dots(4-8)$$

7. Mengecek apakah solusi sudah optimal atau belum. Kalau sudah optimal, maka proses algoritma berhenti, namun bila belum optimal maka kembali ke langkah 2.



Gambar 4.4 Diagram alir metode *improved particle swarm optimization*.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

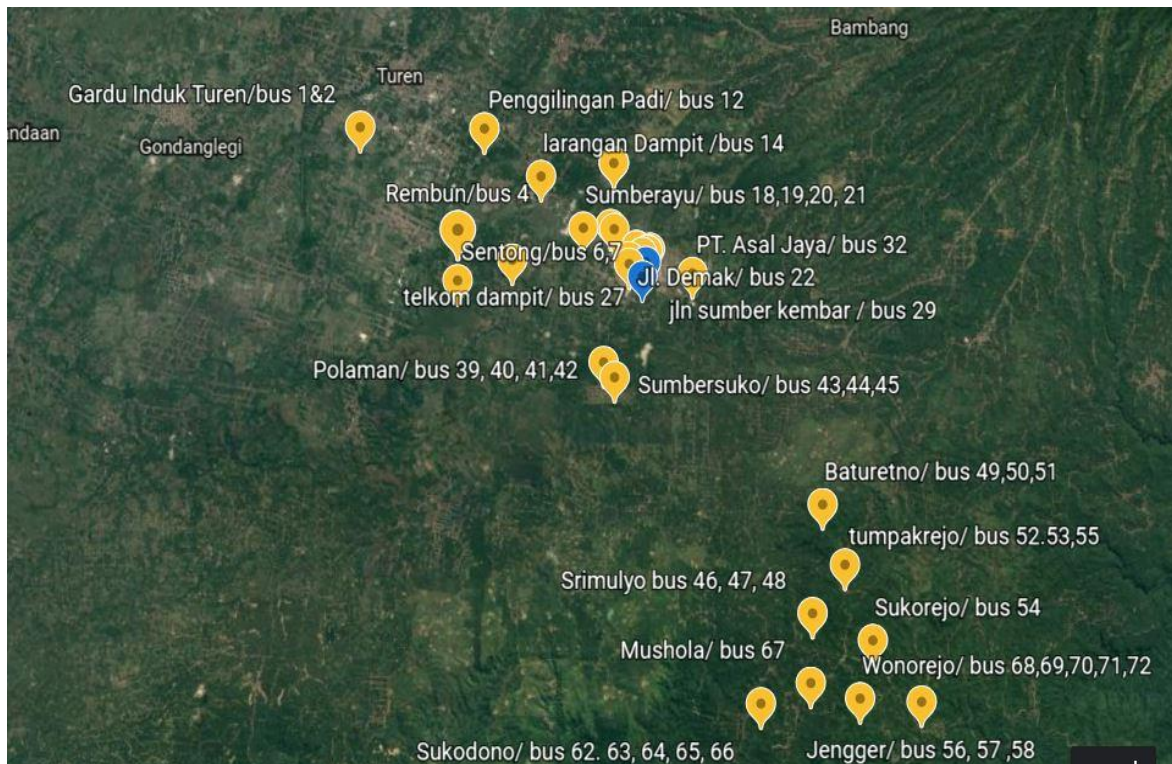
Pada penulisan tesis ini dilakukan simulasi injeksi PVDG untuk meminimalisasi losses. Metode yang digunakan adalah *Ant colony Optimization Continous Domain* (ACOCD) dan *Improved particle swarm Optimization* (IPSO) . Metode algoritma ACOCD merupakan metode yang terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur dari koloninya dalam mencari makanan. Pada penelitian ini menggunakan metode *Ant Colony Optimization continous domain* karena pada saat operasi sistem terdapat domain yang bersifat kontinu sehingga algoritma koloni semut domain kontinu lebih teliti dalam menganalisis. Sedangkan untuk metode IPSO adalah modifikasi dari persamaan dasar algoritma *PSO standard*. Pada algoritma *standard*, kecepatan *particle* di *update* terlalu cepat dan nilai minimum fungsi tujuan yang dicari sering terlewat. Sehingga perlu dilakukan modifikasi terhadap *PSO standard*. Pada metode IPSO menggunakan teknik *chaotic sequences* dengan menggabungkan *constriction factor* untuk memperbaiki kemampuan penelusuran global, sehingga meredam kecepatan selama iterasi, yang memungkinkan suatu populasi menuju titik target lebih akurat dan efisien dibandingkan dengan *PSO standarnya*. Untuk melihat kemampuan dari metode ACOCD dan IPSO, pada penulisan tesis ini menganalisa perbandingan kedua metode tersebut.

5.1 Sistem Distribusi 20kV Penyulang Dampit

Optimasi penentuan lokasi dan kapasitas daya *photovoltaic distribution generation* menggunakan metode *Ant Colony Optimization Continous Domain* dan *Improved Particle Swarm Optimization* dilakukan dengan menggunakan data sistem distribusi tahun 2018 yang diperoleh dari PT. PLN Malang Jawa Timur. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data real penyulang Dampit 20 kV yang tersuplai dari gardu induk Turen kabupaten Malang. Data penyulang Dampit terdiri dari 73 bus beban dan beserta salurannya pada single line yang ditunjukkan pada gambar 5.1



Penyulang Dampit menyuplai daya untuk kecamatan Dampit, dimana kecamatan Dampit terdapat 11 desa satu kelurahan yang secara geografis terletak di sebelah tenggara 36 kilometer dari kota Malang, Kecamatan ini memiliki luas wilayah 135.300 km² dengan kondisi alam terbuka lebih dari 80 % berupa hutan, sawah, ladang dll. Secara umum struktur tanah di wilayah Kecamatan Dampit merupakan jenis tanah pedsolik dengan topografi sebagian merupakan daratan dan pegunungan dengan ketinggian 300 sampai 460 meter di atas permukaan laut, dengan kemiringan kurang dari 40 persen. Curah hujan rata-rata di kecamatan ini mencapai 1.419 mm/tahun. Kondisi tingkat radiasi matahari rata-rata 363.8 kal/cm² pertahun. Dari kondisi geografi tersebut sangat strategis untuk meletakkan pembangkit tersebar berupa *photovoltaic*. Gambar 5.2 menunjukkan peta lokasi penyulang dampit dengan titik alamat bus yang berpotensi untuk penempatan PVDG dengan 95% lokasi bus yang strategis.



Gambar 5.2 Peta lokasi strategis penempatan PVDG.

Sumber: Google Earth.

5.1.1 Data Trafo Gardu Induk Turen

Penyulang dampit mendapatkan suplai dari Trafo 1 Gardu Induk Turen Malang. Pada Penyulang Dampit terpasang CB 300 A sehingga daya (S) penyulang tersebut adalah 6 MVA.

5.1.2 Data Saluran Penyulang Dampit

Pada penyulang Dampit panjang saluran udara tegangan menengah 90.772 kMs yang terdiri dari beberapa jenis penghantar. Data jenis penghantar saluran penyulang Dampit, data resistansi dan reaktansi saluran ditunjukkan pada lampiran-2.

5.1.3 Data Beban penyulang Dampit

Penyulang Dampit memiliki 73 bus gardu distribusi. Gardu ini melayani beban konsumen di area suplai. Total beban maksimum sebesar 4.438 MW dan 2.750 MVAR. Total gardu distribusi yang disuplai daya dari GI. Turen sebanyak 70 gardu beban yang bervariasi. Data beban ditunjukkan pada lampiran-3.

5.2 Hasil Simulasi

Simulasi optimisasi injeksi PVDG dilakukan secara diskret dan secara operasi sistem. Secara operasi sistem berarti pembangkit listrik beroperasi secara kontinu setelah dinyalakan sesuai dengan bertambahnya permintaan kebutuhan injeksi dan berdasarkan losses yang paling besar. Pada penelitian ini langkah yang pertama yakni langkah analisis aliran daya pada saat kondisi eksisting. Hasil analisis aliran daya pada saat eksisting penyulang Dampit menjadi parameter untuk melakukan proses optimasi penentuan lokasi dan ukuran kapasitas daya PVDG, Untuk penempatan posisi PVDG yang strategis. Selanjutnya yaitu langkah- langkah skenario dengan penambahan PVDG untuk dioptimalkan oleh metode ACOCD yang secara operasi sistem (kontinu) dan metode IPSO secara numerik. langkah yang kedua yaitu skenario-1, pada skenario-1 proses optimasi dengan menambahkan 1 PVDG daya injeksi 30% nilai daya beban maksimum sebesar 1.2 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.2 MW. ketiga yaitu skenario-2, proses optimasi dengan menambahkan 2 PVDG daya injeksi 40 % nilai daya sebesar 1.6 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.6 MW. Pada skenario ketiga, proses optimasi dengan menambahkan 4 PVDG dengan daya injeksi 50% nilai daya sebesar 2 MW dengan

konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 2 MW. Gambaran penelitian ini ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Tabel Skenario penelitian

No.	Skenario	Sumber				Kondisi Beban		
		PLN	1PV	2PV	4PV	100%	70%	40%
1	Sistem eksisting	✓				✓	✓	✓
2	Skenario-1	✓	✓			✓		
3	Skenario-2	✓		✓		✓		
4	Skenario-3	✓			✓	✓		

5.2.1 Hasil Simulasi Aliran Daya Sistem Eksisting Sebelum Injeksi PVDG

Hasil simulasi aliran daya sistem eksisting sebelum injeksi dilakukan dengan menghitung profil tegangan masing-masing bus dengan menggunakan software Matlab solusi *Power Flow* dengan metode *Newton Raphson*. Analisis simulasi Aliran daya pada penyulang Dampit menjadi parameter untuk melakukan proses optimasi penentuan titik lokasi dan ukuran kapasitas daya PVDG. Hasil analisis aliran daya dengan tiga kondisi beban yaitu pada beban daya minimum (40%), beban daya rata-rata (70%) dan beban daya maksimum (100%). Hasil analisis aliran daya dengan tiga kondisi ditunjukkan pada lampiran-4. Berikut perbandingan hasil analisis aliran daya penyulang Dampit pada tiga kondisipembebanan sebelum injeksi PVDG pada tabel 5.2.

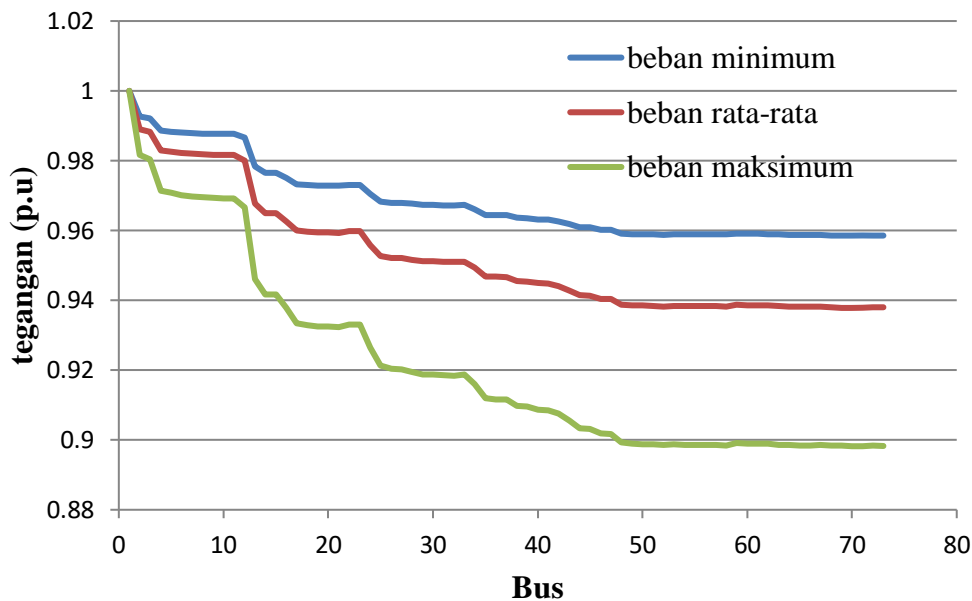
Tabel 5.2 perbandingan hasil analisis aliran daya sistem eksisting tigs kondisi pembebanan.

Kondisi eksisting	Pembangkitan		Pembebanan		Rugi-rugi daya		% Losses	
	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P %	Q %
Beban Maksimum	4.694	3.166	4.43	2.75	0.259	0.420	5.51	13.26
Beban Rata-rata	2.852	1.865	2.76	1.17	0.095	0.154	3.33	8.25
Beban Minimum	1.922	1.242	1.88	1.16	0.043	0.069	2.23	5.55

Sumber: Simulasi Matlab

Tabel 5.2 menunjukkan rugi-rugi daya terbesar terjadi pada saat penyulang berada pada kondisi maksimum (100%). Besarnya rugi-rugi daya pada penyulang sebesar 0.259 MW (5.51%) dan 0.420 MVAR (13.26%). Besarnya *Losses* menjadi pertimbangan untuk

melakukan injeksi daya PVDG. Gambar 5.3 menunjukkan tegangan sistem eksisting pada tiga kondisi pembebanan.



Gambar 5.3 Tegangan sistem tiap bus pada kondisi beban maksimum, rata-rata dan minimum

Dari gambar 5.3 menunjukkan penurunan tegangan tertinggi terjadi pada saat kondisi beban maksimum yang mencapai penurunan 10% pada 20 bus dari 73 bus sistem. Dari kondisi tersebut maka optimasi penempatan lokasi injeksi dan kapasitas daya PVDG menggunakan data kondisi beban maksimum.

5.2.2 Hasil Simulasi Optimasi Skenario-1

Setiap skenario optimasi yang dicari oleh ACOCD dan IPSO masing-masing sebanyak 10 kali percobaan dengan pengambilan hasil posisi bus yang di injeksi, daya PVDG yang diinjeksi, total losses, waktu iterasi dan waktu running, kemudian dihitung prosentase *losses* dari optimasi. Hasil analisis aliran daya pada saat kondisi beban maksimum menunjukkan penurunan tegangan diluar standar terjadi hingga mencapai -10%. Berdasarkan data tersebut, maka optimasi yang dicari pada penelitian ini yaitu data daya pembebanan maksimum. Optimasi terbaik dari metode ini akan digunakan menjadi rujukan untuk dilakukan pemodelan sistem injeksi PVDG.

Untuk penempatan posisi PVDG yang strategis berdasarkan survei yaitu 95% yakni pada Bus 4 sampai Bus 73. Untuk menentukan parameter daya yang akan diinjeksi rumusnya adalah:

$$P_{PVDG} = N\% \times P_{Load} \dots\dots\dots(5-1)$$

Dimana:

N= Prosentase daya yang akan di injeksi (%).

Pada skenario-1 proses optimasi dengan menambahkan 1 PVDG daya injeksi 30% nilai daya beban maksimum sebesar 1.2 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.2 MW. Parameter yang digunakan untuk proses optimasi ACOCD yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; ukuran populasi semut=10; Ukuran sampel populasi baru=10; Faktor seleksi =0.5; deviasi rasio jarak=1; Total nilai fitness terbaik menunjukkan minimalisasi rugi-rugi daya terkecil. Sedangkan Parameter yang digunakan untuk proses optimasi IPSO yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; Batas bobot maksimum = 0.9; Batas bobot minimum =0.4; miu = 4.0; fo= 0.85; bobot pengereman=0.99; c1= 1.5; c2=2; ukuran populasi = 10.

Hasil injeksi menggunakan ACOCD untuk skenario-1 ditunjukan pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil injeksi ACOCD untuk skenario-1.

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (s)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P (MW)	Q (MVar)
1	46	1.20	0.068	0.105	4	5.10	1.45	2.15
2	46	1.20	0.068	0.105	8	4.44	1.45	2.15
3	46	1.20	0.068	0.105	3	4.83	1.45	2.15
4	46	1.20	0.068	0.105	9	5.21	1.45	2.15
5	43	1.19	0.069	0.106	10	4.95	1.47	2.18
6	46	1.20	0.068	0.105	3	5.08	1.45	2.15
7	46	1.20	0.068	0.105	4	4.74	1.45	2.15
8	59	1.20	0.073	0.110	9	4.52	1.56	2.31
9	46	1.20	0.068	0.105	6	4.71	1.45	2.15
10	43	1.20	0.069	0.105	10	4.50	1.47	2.18
Yang Terbaik	46	1.20	0.068	0.105	3	4.83	1.45	2.15

Sumber: Simulasi Matlab

Pada skenario pertama dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke- 3 dengan posisi bus pada bus 46 dengan daya injeksi 2

MW, *Losses* P (1.45%) dan Q (2.15%), waktu iterasi ke-3 dan waktu running 4.83 detik. Posisi bus 46 berada pada desa Srimulyo Dampit dengan keadaan geografis yang cocok untuk meletakkan PVDG dengan luas area peletakkan PVDG dihitung dari luas modul PV 200Wp.

$$\text{Luas area PVDG} = \left(\frac{\text{Daya Injeksi}}{\text{Daya Modul}} \right) \times \text{luas modul} = \left(\frac{1200000}{200} \right) \times (1.5 \times 0.8) = 7200 \text{ m}^2.$$

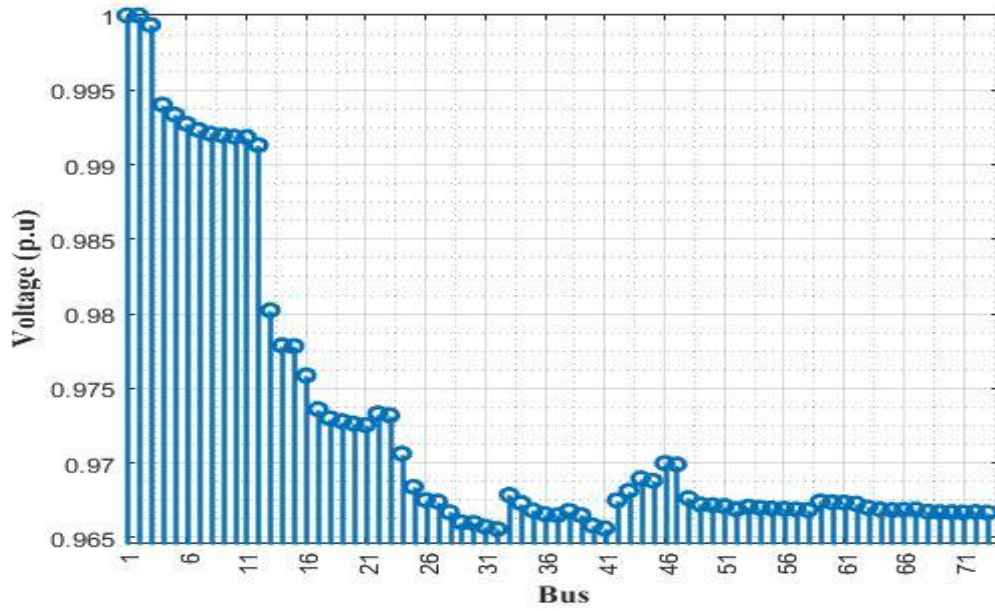
Tabel 5.4 Hasil injeksi IPSO untuk skenario 1

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (s)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P (MW)	Q (MVar)
1	43	1.200	0.092	0.151	6	4.607	1.96	2.91
2	34	1.200	0.104	0.166	4	4.759	2.22	3.28
3	43	1.200	0.088	0.143	2	4.800	1.87	2.78
4	43	1.200	0.092	0.151	6	4.563	1.96	2.91
5	67	1.200	0.097	0.155	8	4.442	2.07	3.06
6	43	1.200	0.088	0.143	5	4.596	1.87	2.78
7	43	1.185	0.093	0.152	6	4.558	1.98	2.94
8	67	1.200	0.097	0.155	2	5.709	2.07	3.06
9	43	1.161	0.090	0.147	10	4.600	1.92	2.84
10	40	1.182	0.097	0.156	7	4.693	2.07	3.06
Yang Terbaik	43	1.200	0.088	0.143	2	4.800	1.87	2.78

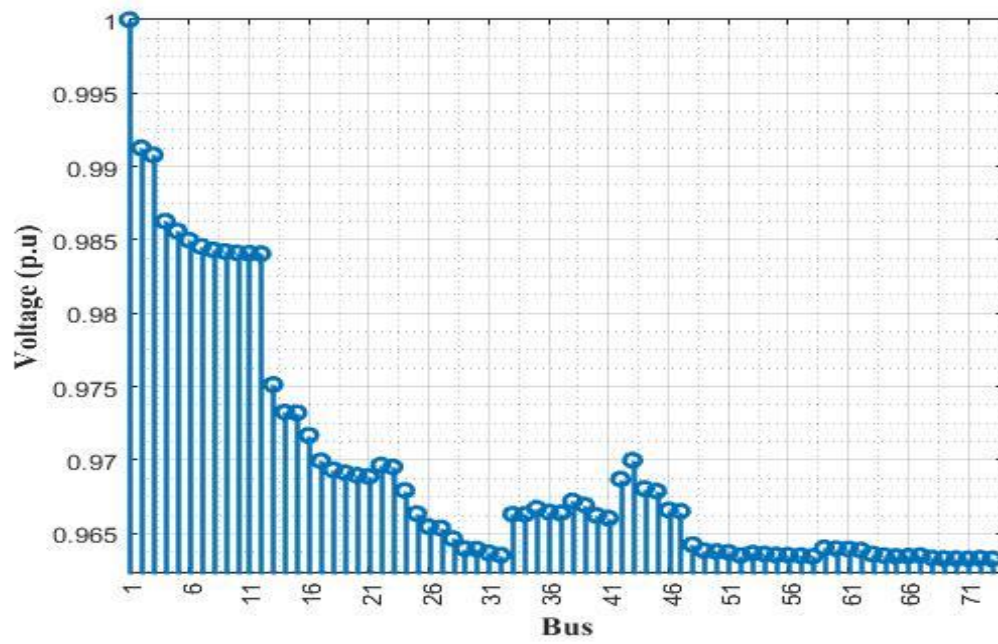
Sumber: Simulasi Matlab

Pada tabel 5.4 skenario pertama dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke- 3 dengan posisi bus pada bus 43 dengan daya injeksi 1.2 MW dan *Losses* P (1.87%) dan Q (2.78%). Posisi bus 43 berada pada desa Sumbersuko Dampit dengan keadaan geografis yang cocok untuk meletakkan PVDG dengan luas area peletakkan PVDG 7200 m². Hasil loadflow terbaik di tampilkan pada lampiran-6. Hasil Optimasi terbaik skenario-1 ditampilkan pada gambar 5.4 dan gambar 5.5.

(a)

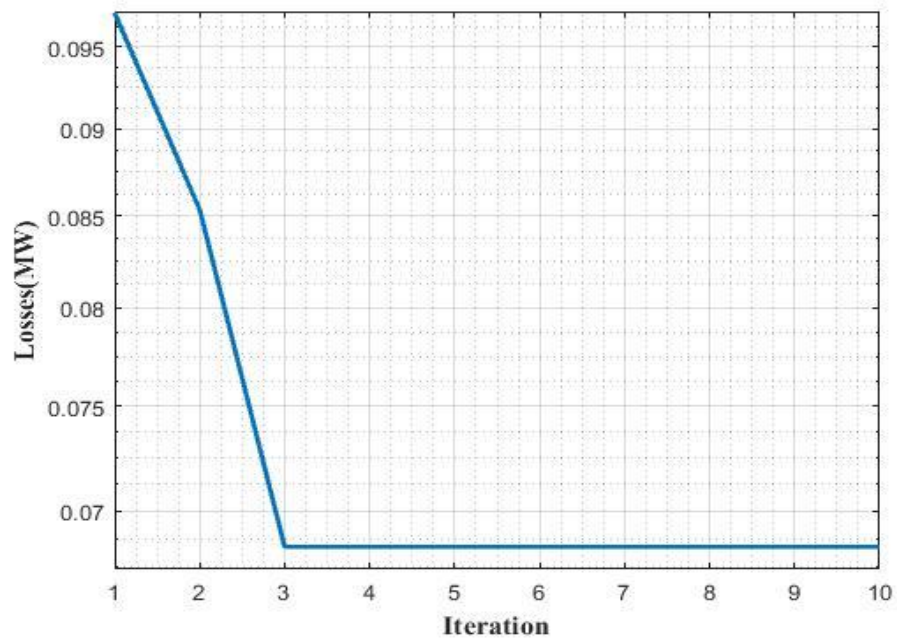


(b)

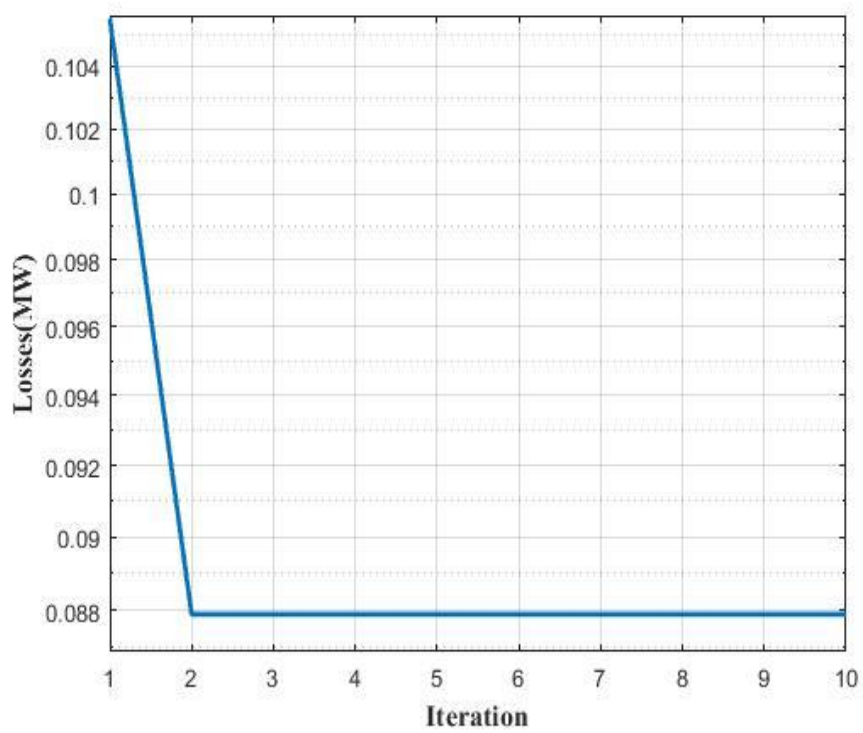


Gambar 5.4. Kondisi tegangan (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-1

(a)



(b)



Gambar 5.5. Optimasi (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-1

5.2. 3 Hasil Simulasi Optimasi Skenario-2

Pada skenario-2, proses optimasi dengan menambahkan 2 PVDG daya injeksi 40 % nilai daya sebesar 1.6 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 1.6 MW. Parameter yang digunakan untuk proses optimasi ACOCD yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; ukuran populasi semut=10; Ukuran sampel populasi baru=10; Faktor seleksi =0.5; deviasi rasio jarak=1; Total nilai fitness terbaik menunjukkan minimalisasi rugi-rugi daya terkecil. Sedangkan Parameter yang digunakan untuk proses optimasi IPSO yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; Batas bobot maksimum = 0.9; Batas bobot minimum =0.4; $\mu = 4.0$; $\phi = 0.85$; bobot pengereman=0.99; $c_1 = 1.5$; $c_2=2$; ukuran populasi = 10.

Hasil injeksi menggunakan ACOCD untuk skenario-2 ditunjukkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.5. Hasil injeksi ACOCD untuk skenario-2.

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (s)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
1	44 33	1.431 1.600	0.014	0.021	3	4.033	0.30	0.44
2	29 48	1.590 1.537	0.014	0.021	7	4.020	0.30	0.44
3	48 33	1.543 1.600	0.011	0.017	7	4.432	0.23	0.35
4	48 29	1.600 1.600	0.014	0.020	4	4.075	0.30	0.44
5	26 47	1.600 1.422	0.016	0.024	5	4.239	0.34	0.51
6	38 63	1.263 1.600	0.023	0.032	10	4.479	0.49	0.73
7	34 53	1.595 1.358	0.016	0.023	8	4.313	0.34	0.51
8	25 48	1.600 1.600	0.010	0.015	9	4.138	0.21	0.32
9	34 48	1.595 1.600	0.012	0.018	9	4.209	0.26	0.38
10	34 49	1.566 1.331	0.015	0.023	8	4.487	0.32	0.47
Yang Terbaik	25 48	1.600 1.600	0.010	0.015	9	4.138	0.21	0.32

Sumber: Simulasi Matlab

Pada skenario kedua dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke- 8 dengan posisi bus pada bus 25 dan 48 dengan daya injeksi masing-masing 1.6 MW dan Losses P (0.21%) dan Q (0.32%). Waktu konvergen pada iterasi ke-9 dan waktu optimasi 4.138 detik. Posisi bus 25 berada pada Jl. Semeru Dampit dan bus 48 berada pada desa Srimulyo Dampit dengan keadaan geografis yang cocok untuk meletakkan PVDG dengan luas area peletakkan PVDG masing –masing 9600 m².

Hasil injeksi menggunakan IPSO untuk skenario-2 ditunjukkan pada tabel 5.6.

Tabel 5.6 Hasil injeksi IPSO untuk skenario 2

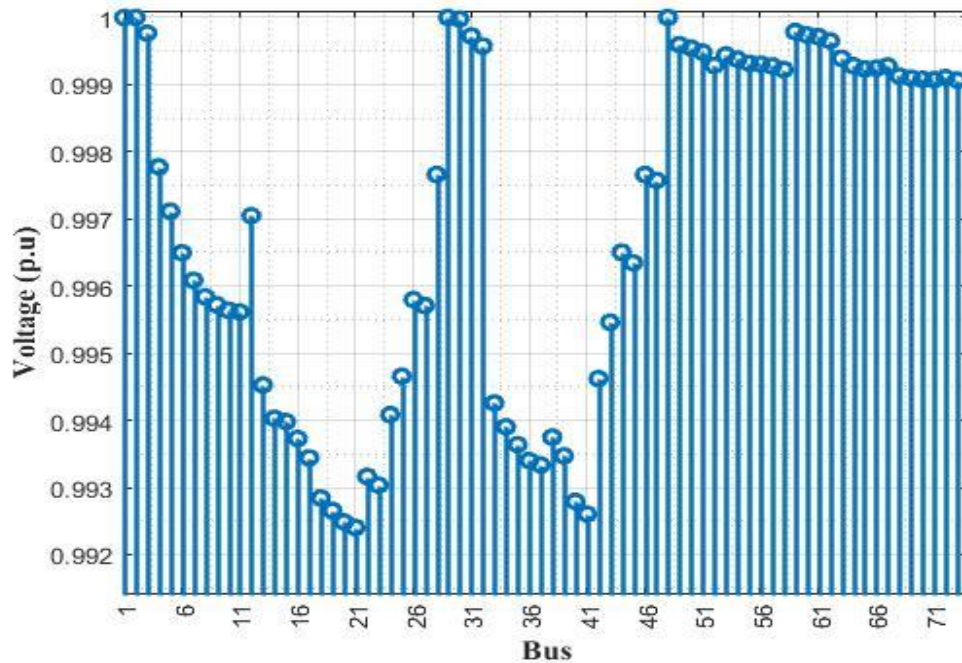
Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (s)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
1	26 48	1.600 1.600	0.015	0.022	10	3.898	0.32	0.47
2	49 17	1.600 1.600	0.021	0.032	10	4.006	0.45	0.66
3	48 33	1.600 1.600	0.015	0.023	6	4.062	0.32	0.47
4	62 34	1.391 1.600	0.019	0.030	4	3.937	0.40	0.60
5	24 48	1.572 1.600	0.017	0.026	10	4.151	0.36	0.54
6	33 50	1.600 0.790	0.043	0.068	7	5.132	0.92	1.36
7	48 29	1.600 1.600	0.018	0.027	10	4.160	0.38	0.57
8	25 63	1.600 1.553	0.018	0.027	9	4.711	0.38	0.57
9	33 44	1.599 1.600	0.016	0.024	8	4.022	0.34	0.51
10	44 25	1.600 1.600	0.015	0.023	8	3.908	0.32	0.47
Yang Terbaik	48 33	1.600 1.600	0.015	0.023	6	4.062	0.32	0.47

Sumber: Simulasi Matlab

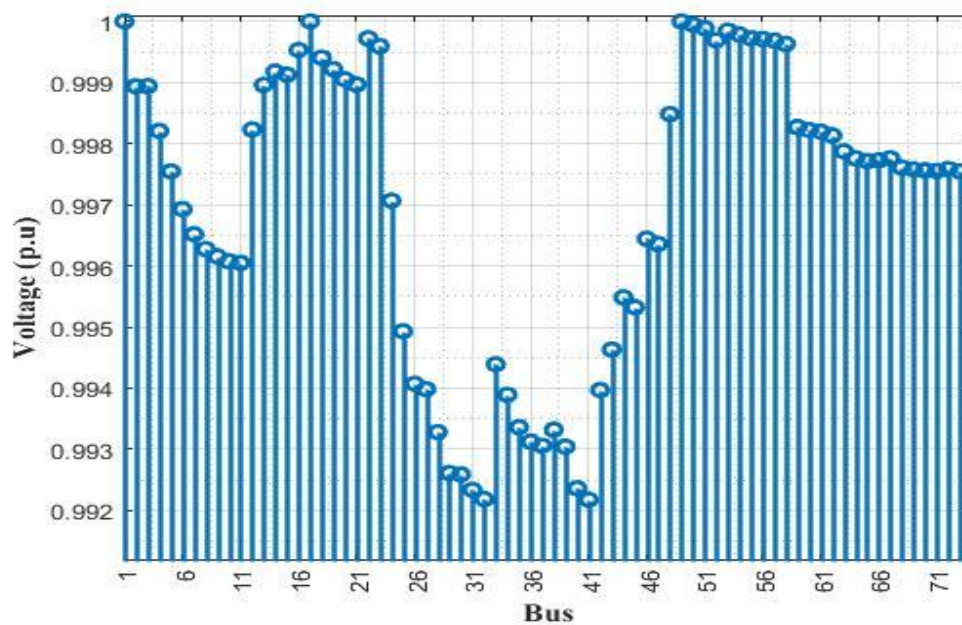
Pada skenario kedua dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke-3 dengan posisi bus pada bus 33 dan 48 dengan daya injeksi 1.6 MW dan 1.6 MW dan Losses P (0.32%) dan Q (0.47%). Waktu konvergen iterasi ke-6 dan waktu running optimasi 4.062 Posisi bus 33 berada pada jalan Pajang Dampit dan bus 48 berada pada desa Srimulyo Dampit dengan keadaan geografis yang

cocok untuk meletakkan PVDG dengan luas area peletakkan PVDG masing-masing adalah 9600 m^2 . Hasil *loadflow* terbaik di tampilkan pada lampiran-6. Hasil Optimasi terbaik skenario-2 ditampilkan pada gambar 5.6 dan gambar 5.7.

(a)

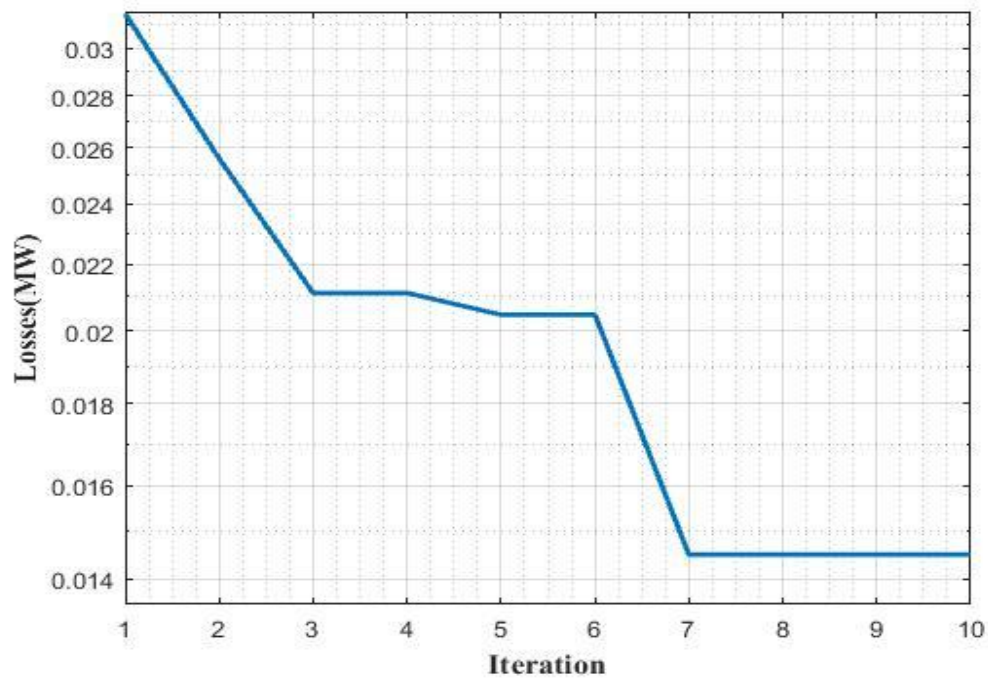


(b)

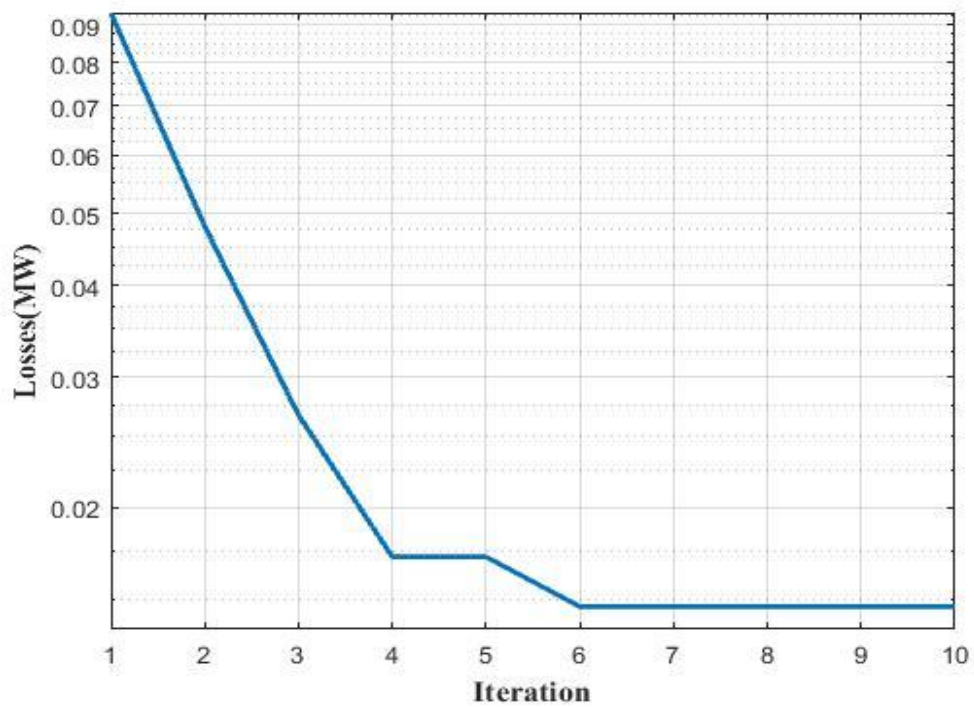


Gambar 5.6. Kondisi tegangan (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-2

(a)



(b)



Gambar 5.7. Optimasi (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-2

5.2.3 Hasil Simulasi Optimasi Skenario -3

Pada skenario-3, proses optimasi dengan menambahkan 4 PVDG dengan daya injeksi 50% nilai daya sebesar 2 MW dengan konstrain yang diberikan pada batas bawah pembangkitan yaitu 0.5 kW dan batas atas pembangkitan yaitu 2 MW. Parameter yang digunakan untuk proses optimasi ACOCD yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; ukuran populasi semut=10; Ukuran sampel populasi baru=10; Faktor seleksi =0.1; deviasi rasio jarak=0.1; Total nilai fitness terbaik menunjukkan minimalisasi rugi-rugi daya terkecil. Sedangkan Parameter yang digunakan untuk proses optimasi IPSO yaitu data saluran, data beban kondisi beban maksimum; Iterasi maksimum =10; Batas bobot maksimum = 0.9; Batas bobot minimum =0.4; $\mu = 4.0$; $\text{fo} = 0.85$; bobot pengereman=0.99; $c1 = 1.5$; $c2 = 2$; ukuran populasi = 10.

Hasil injeksi menggunakan ACOCD untuk skenario-3 ditunjukan pada tabel 5.7

Tabel 5.7 Hasil injeksi ACOCD untuk skenario-3

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (S)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
1	67	0.334	0.015	0.021	7	4.376	0.32	0.66
	34	0.493						
	44	1.814						
	14	0.559						
2	28	1.070	0.007	0.010	6	4.464	0.15	0.32
	4	1.024						
	33	1.626						
	48	1.165						
3	40	0.621	0.004	0.006	6	3.648	0.09	0.19
	17	0.659						
	48	1.254						
	33	1.159						
4	46	1.068	0.015	0.022	5	3.789	0.32	0.69
	6	1.700						
	62	0.668						
	38	1.194						
5	25	0.795	0.007	0.009	6	3.955	0.15	0.28
	48	1.598						
	24	0.958						
	25	1.184						
6	46	1.465	0.008	0.011	5	3.904	0.17	0.35
	25	1.485						
	24	0.188						
	52	0.332						
7	25	1.624	0.006	0.009	8	3.967	0.13	0.28
	47	0.252						
	35	1.202						

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (S)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
	67	0.609						
8	4 48 28 35	1.399 0.227 0.907 1.125	0.005	0.008	6	3.808	0.11	0.25
9	28 24 59 26	0.297 1.277 1.730 0.563	0.009	0.013	5	3.751	0.19	0.41
10	62 18 38 32	0.770 1.076 1.668 0.341	0.005	0.007	4	3.677	0.11	0.22
Yang Terbaik	40 17 48 33	0.621 0.659 1.254 1.159	0.004	0.006	6	3.648	0.09	0.19

Sumber: Simulasi Matlab

Pada skenario ketiga dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke-3 dengan posisi bus pada bus 40, 17, 48 dan 33 dengan daya injeksi 0.621 MW, 0.695 MW, 1.254 MW dan 1.159 MW, Losses P (0.09%) dan Q (0.19%). Waktu konvergen pada iterasi ke-6 dan waktu optimasi 3.648 detik. Posisi bus 40 berada di desa Polaman Dampit, bus 17 berada di desa Pamotan Dampit, bus 48 berada pada desa Srimulyo Dampit dan bus 33 berada pada Jl. Pajang Dampit.

Tabel 5.8 Hasil injeksi IPSO untuk skenario 3

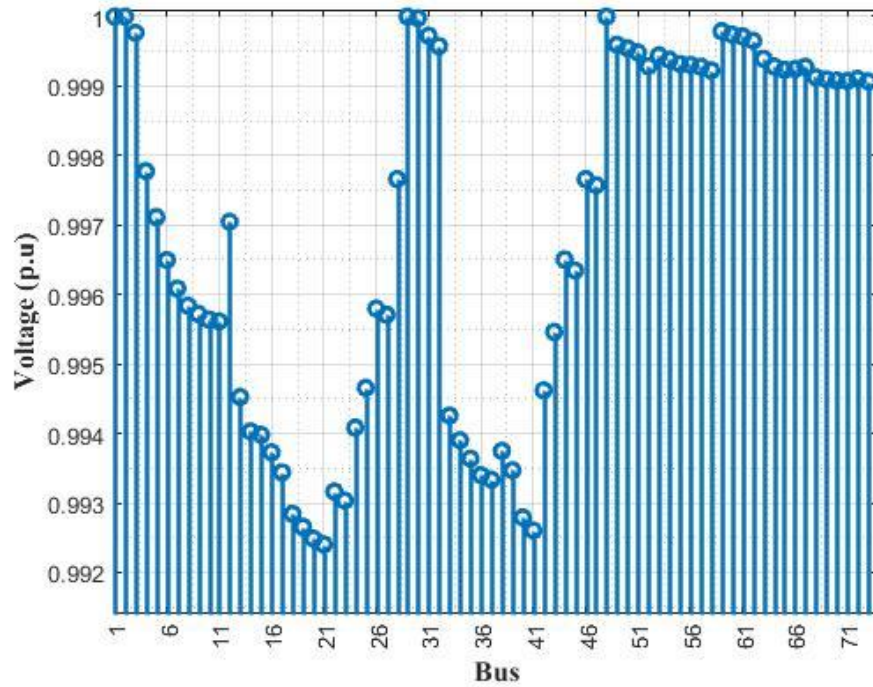
Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (S)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
1	33 39 55 48	2.000 0.975 0.148 0.824	0.008	0.013	7	5.105	0.17	0.25
2	4 38 26 49	1.337 2.000 0.902 0.377	0.009	0.012	10	4.934	0.19	0.28
3	48 4 38 33	1.138 1.245 0.456 2.000	0.006	0.009	8	5.021	0.13	0.19
4	44 65	1.072 0.633	0.008	0.011	7	4.825	0.17	0.25

Percobaan ke-	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (S)	% Losses	
			P (MW)	Q (MVar)			P(MW)	Q(MVar)
	24 33	0.938 1.235						
5	24 49 39 47	1.072 0.735 1.511 0.301	0.009	0.013	6	5.374	0.19	0.28
6	39 64 16 26	1.108 0.749 1.134 1.392	0.006	0.008	8	4.924	0.13	0.19
7	73 22 44 33	0.129 1.292 1.602 1.023	0.009	0.013	6	4.939	0.19	0.28
8	52 25 5 42	0.809 1.996 0.951 0.825	0.006	0.008	9	4.819	0.13	0.19
9	28 4 33 48	1.070 1.024 1.626 1.165	0.007	0.010	6	4.837	0.15	0.22
10	60 35 26 18	0.707 1.402 0.553 1.053	0.008	0.012	7	4.944	0.17	0.25
Yang Terbaik	48 4 38 33	1.138 1.245 0.456 2.000	0.006	0.009	8	5.021	0.13	0.19

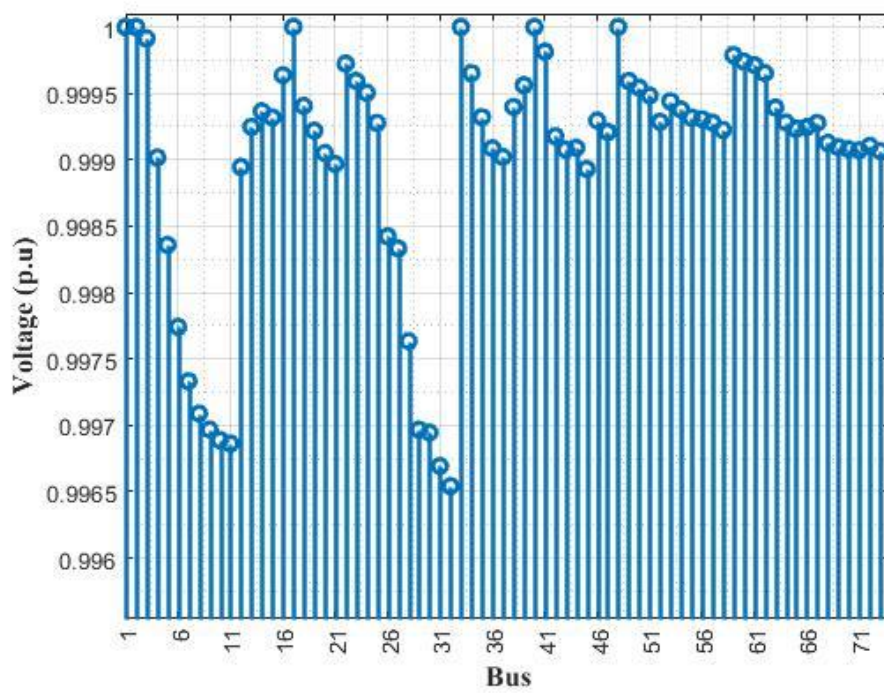
Sumber: Simulasi Matlab

Pada skenario kedua dengan percobaan sebanyak 10 kali didapatkan percobaan yang terbaik yakni percobaan ke-3 dengan posisi bus pada bus 48, 4, 38 dan 33 dengan daya injeksi 1.138 MW, 1.245 MW, 0.456 MW dan 2.000 MW, penurunan Losses P (0.13%) dan Q (0.19%). Waktu konvergen pada iterasi ke-8 dan waktu optimasi 5.021 detik. Posisi bus 48 berada di desa Srimulyo Dampit, bus 4 berada di desa Rembun Dampit, bus 38 berada di BMI Dampit dan bus 33 berada di Jl. Pajang Dampit. Hasil loadflow terbaik di tampilkan pada lampiran-6. Hasil Optimasi terbaik skenario-3 ditampilkan pada gambar 5.8 dan gambar 5.9.

(a)

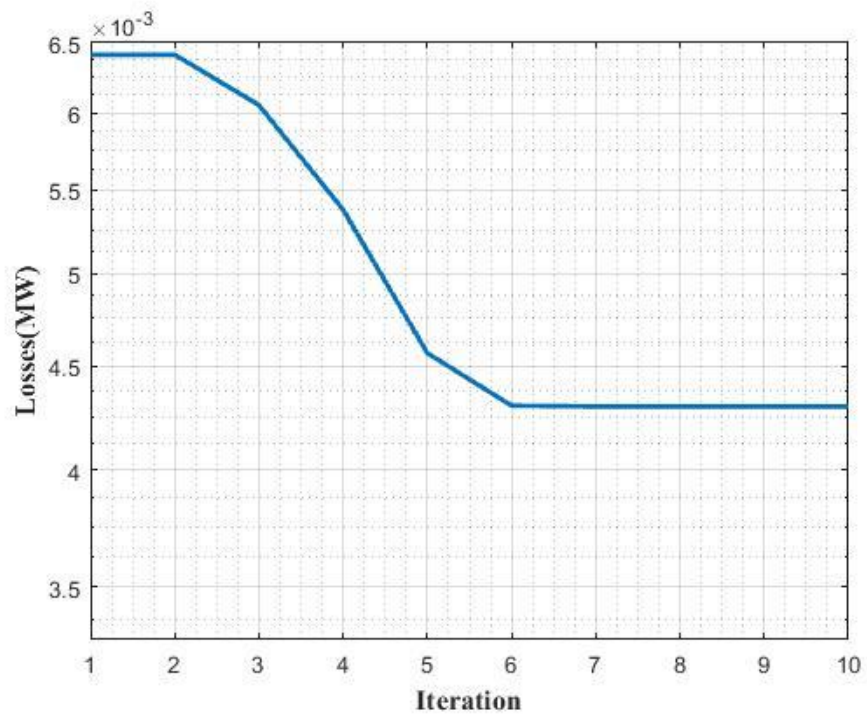


(b)

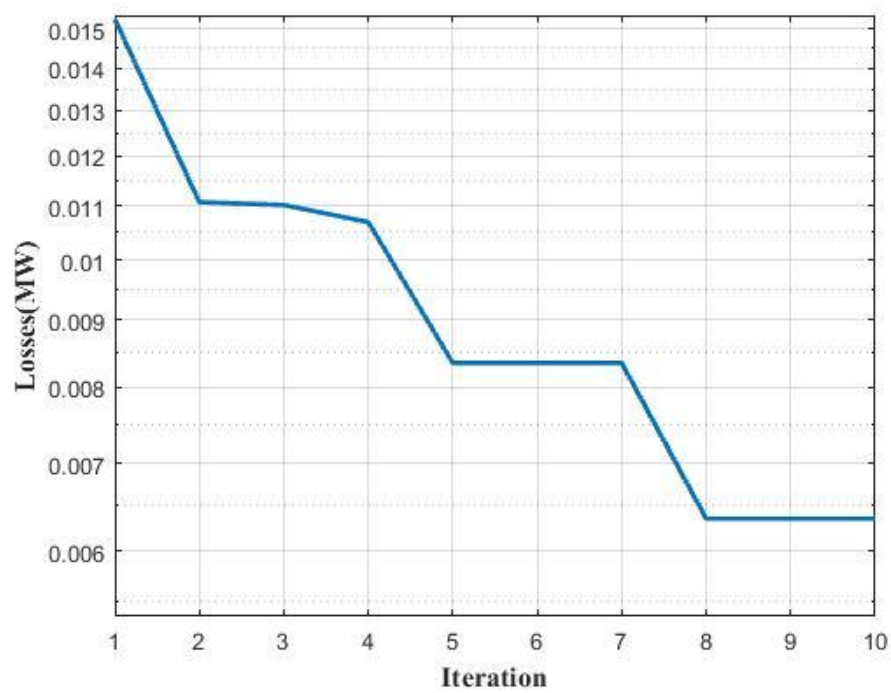


Gambar 5.8. Kondisi tegangan (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-3

(a)



(b)



Gambar 5.9. Optimasi (a) ACOCD (b) IPSO untuk skenario-3

5.3 Perbandingan Optimasi Injeksi Metode IPSO dan ACOCD

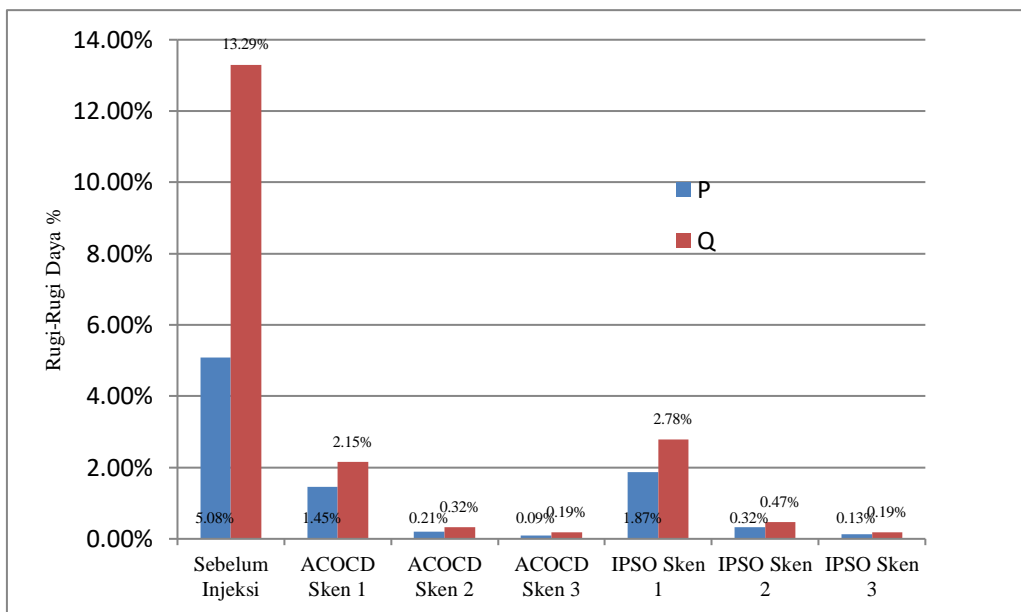
Setelah dilakukan 10 kali percobaan optimasi PVDG menggunakan ACOCD dan IPSO maka diambil nilai terbaik, selanjutnya nilai-nilai terbaik antara kedua algoritma tersebut dibandingkan. Perbandingan terbaik antara kedua algoritma ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9. Perbedaan hasil analisa tiap metode

Metode	Sken.	Posisi Bus	Daya Injeksi (MW)	Losses		Waktu Iterasi Ke-	Waktu Running (s)	% Losses	
				P (MW)	Q (MVar)			P (MW)	Q (MVar)
Sistem Eksisting	-	-	-	0.259	0.420	-	-	5.08	13.29
ACOCD	1	46	1.20	0.068	0.105	3	4.83	1.45	2.15
	2	25 48	1.600 1.600	0.010	0.015	9	4.138	0.21	0.32
	3	40 17 48 33	0.621 0.659 1.254 1.159	0.004	0.006	6	3.648	0.09	0.19
IPSO	1	43	1.200	0.088	0.143	2	4.800	1.87	2.78
	2	48 33	1.600 1.600	0.015	0.023	6	4.062	0.32	0.47
	3	48 4 38 33	1.138 1.245 0.456 2.000	0.006	0.009	8	5.021	0.13	0.19

Sumber: Simulasi Matlab

Tabel 5.9 menunjukkan rugi-rugi daya semakin berkurang. Rugi-rugi daya berkurang setelah injeksi daya PVDG, Pengurangan daya yang awalnya 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 1.45% (skenario-1 ACOCD) dan 1.87% (skenario-1 IPSO), 0.21% (skenario-2 ACOCD) dan 0.32% (skenario-2 IPSO) dan 0.09% (skenario-3 ACOCD) dan 0.13% (skenario-3 IPSO). Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan jumlah DG dapat meminimalkan rugi-rugi daya. Perbandingan kedua metode dari tabel tersebut dapat kita simpulkan metode ACOCD lebih efektif dari IPSO dikarenakan ACOCD menggunakan sistem domain kontinu (secara operasi sistem) sehingga lebih rinci dalam perhitungannya. Namun untuk waktu iterasi konvergen rata-rata IPSO lebih cepat dibandingkan ACOCD dikarenakan IPSO menggunakan sistem numerik. Gambar 5.10 menampilkan grafik perbandingan rugi-rugi daya.



Gambar 5.10 Grafik perbandingan rugi-rugi daya.

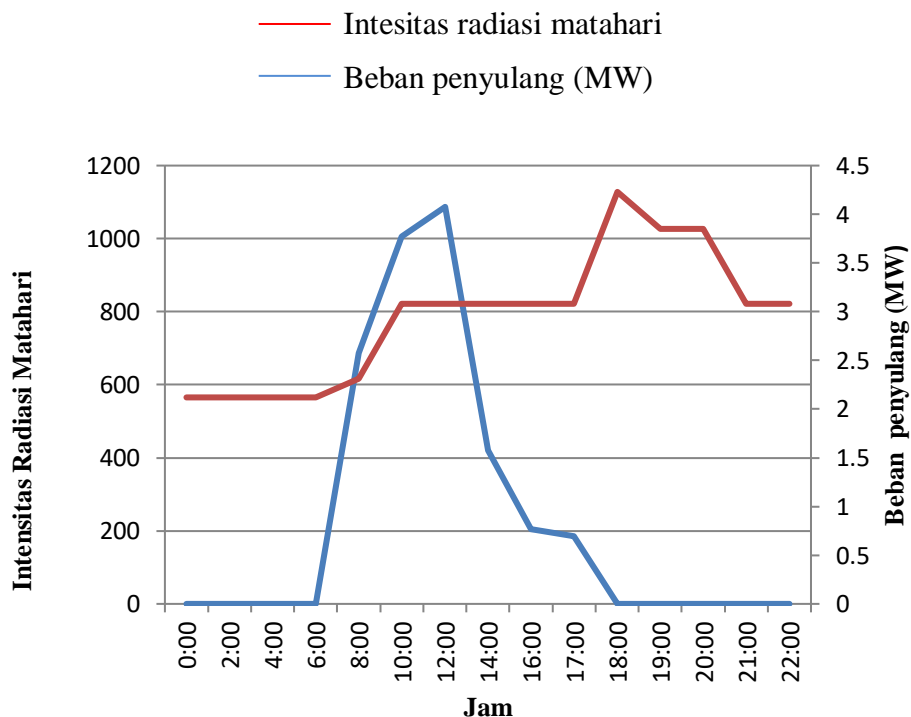
5.4 Penerapan Photovoltaic Distributed Generation (PVDG)

Penerapan PVDG dengan memperhitungkan hasil optimasi, setelah hasil optimasi diperoleh selanjutnya diaplikasikan dengan karakteristik intensitas radiasi matahari Kabupaten Malang daerah Tirtoyudo – Dampit data didapat pada musim kemarau bulan Mei sampai Oktober 2018. Tabel 5.10. menunjukkan Karakteristik harian intensitas radiasi matahari Tirtuyudo – Dampit dan karakteristik beban penyulang Dampit

Tabel 5.10. Karakteristik harian intensitas radiasi matahari Tirtuyudo – Dampit dan karakteristik beban penyulang Dampit

Waktu	intensitas radiasi matahari	beban penyulang (MW)
0:00	0	2.12
2:00	0	2.12
4:00	0	2.12
6:00	0	2.12
8:00	687	2.31
10:00	1006	3.08
12:00	1087	3.08
14:00	421	3.08
16:00	205	3.08
17:00	185	3.08
18:00	0	4.23
19:00	0	3.85
20:00	0	3.85
21:00	0	3.08
22:00	0	3.08

Dari Tabel 5.10. ditunjukkan durasi lama penyinaran matahari pada Tirtuyudo – Dampit terjadi rata-rata 6 jam. Dari data tersebut didapatkan beberapa waktu efektif penyinaran matahari yakni 6 jam yang dimulai dari jam 8.00-14.00 WIB. Hal ini menunjukkan bahwa efektif penyinaran matahari kabupaten Malang daerah Tirtuyudo – Dampit dapat melebihi *standart test condition* (STC) untuk operasional panel *photovoltaic* yakni sebesar 1000W/m^2 . Karakteristik beban selama efektifitas penyinaran matahari untuk penerapan sejumlah panel photovoltaic yang disusun untuk menghasilkan output daya sesuai kebutuhan pada jaringan. Pada gambar 5.11 menunjukkan bahwa radiasi matahari kabupaten Malang daerah Tirtuyudo – Dampit cukup berpotensi untuk PVDG selama 10 jam penyinaran matahari. Gambar 5.11 menunjukkan radiasi maksimal dapat mencapai 1087 W/m^2 diatas *standart test condition* (1000 W/m^2). Kondisi ini dapat dimanfaatkan untuk menaikkan profil tegangan dan sekaligus backup daya pada penyulang selama aktifitas maksimal radiasi matahari.



Gambar 5.11 Grafik karakteristik beban penyulang dan intensitas radiasi matahari harian Tirtuyudo – Dampit

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari simulasi diperoleh bahwa optimasi penempatan PVDG menggunakan metode ACOCD (*Ant Colony Optimization Continuous Domain*) dan IPSO (*Improved Particle Swarm Optimization*) maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penempatan PVDG yang optimal berpengaruh terhadap berkurangnya rugi-rugi daya aktif dan meningkatkan profil tegangan sesuai dengan standar aturan jaringan sistem tenaga listrik 20 kV (+5% atau -10% dari tegangan nominal) pada penyulang Dampit 20kV.
2. Rugi-rugi daya berkurang setelah injeksi daya PVDG, Pengurangan daya yang awalnya 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG menggunakan metode ACOCD rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 1.45% (skenario-1 ACOCD), 0.21% (skenario-2 ACOCD) dan 0.09% (skenario-3 ACOCD).
3. Rugi-rugi daya berkurang setelah injeksi daya PVDG, Pengurangan daya yang awalnya 5.08% namun, setelah injeksi daya PVDG menggunakan metode IPSO rugi-rugi daya aktif menurun menjadi 1.87% (skenario-1 IPSO), 0.32% (skenario-2 IPSO) dan 0.13% (skenario-3 IPSO).
4. Metode ACOCD lebih efektif dan performa lebih baik daripada IPSO dikarenakan ACOCD menghasilkan nilai persentase rugi-rugi daya lebih kecil (lebih baik).
5. Radiasi matahari kabupaten Malang khususnya daerah Dampit-Tirtoyudo cukup berpotensi untuk menerapkan PVDG selama 10 jam penyinaran matahari terlihat radiasi maksimal dapat mencapai 1087 W/m^2 diatas *standart test condition* (1000 W/m^2). Kondisi ini dapat kita manfaatkan untuk menaikkan profil tegangan dan sekaligus *backup* daya pada penyulang selama aktifitas maksimal radiasi matahari.

6.2. Saran

Adapun saran penulis untuk penelitian selanjutnya adalah perlunya penelitian lebih lanjut tentang stabilitas daya pada saat injeksi PVDG yang dilakukan dengan metode metaheuristik yang lainnya. Agar nantinya didapat suatu perbandingan atau performa yang lebih baik dari hasil yang diperoleh pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG, 2006. Peraturan Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika nomor SK.32/TL.202/KB/BMG-2006.
- Bhuyan, S. Das, M. Bhuyan, K. 2017. Particle Swarm Optimizations Based DG Allocation in Local PV Distribution Networks for Voltage Profile Improvement, IEEE International Conference on Emerging Trends and Advances.
- Chongfuangprinya, P., Spare, J., Agüero, J.R., Enslin, J.H.R., dan Al-Atrash, H. 2012. Integration of Micro-Scale Photovoltaic Distributed Generation on Power Distribution Systems: Steady-State Analyses, *IEEE PES*, Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D), ISSN. 2160-8555, pp.1-6 Orlando, FL.
- Dorigo, M and Stutzle, T. 2004. Ant colony optimization. A Bradford book. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.
- Hakim, L. 2016. *Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Surya-Angin Terhubung Grid Di Gunung Banyak Kota Batu*. Tesis. Tidak dipublikasikan. Malang : Universitas Brawijaya.
- Hermawan, Ahmad. 2012. *Transmisi dan Distribusi Sistem Tenaga Listrik*. Malang : Politeknik Negeri Malang.
- Hia, F. 2015. Optimasi Kapasitas DG Pada Sistem Distribusi untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Ant Colony Optimization. *Jurnal Transien* Vol. 4, No. 2.
- Katiraei, F. dan Agüero, J.R. 2011. Solar PV Integration Challenges, *IEEE Power & energy magazine*, ISSN : 1540-7977, vol. 9, Iss. 3, Page(s): 62-71.
- K. Socha and M. Dorigo, "Ant colony optimization for continuous domains," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 185, no. 3, pp. 1155–1173, 2008.
- Kementerian ESDM. 2018. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 53 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik*. Jakarta : Kementerian ESDM.

- Marsudi, Dj. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Jakarta.
- Naupari, D. Molina, Y. Coronel, A. Optimal Sizing of Photovoltaic Systems in Distribution Networks Using Particle Swarm Optimization. ISSN. 978-1-5386-5844-4/18/2018 IEEE.
- Rani, Septia. 2013. *Modul Pelatihan Pemrograman Matlab*. Yogyakarta : Himpasikom UGM.
- Saadat, H. 1999. *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc. USA.
- Stevenson, William D., Granger, John J., 1994. *Power System Analysis*, McGraw-Hill International Edition., New York.
- Suyono, Hadi. 2014. *Advanced Power System Analysis (Load Flow Analysis)*. Department of Electrical Engineering, Brawijaya University.
- Tamimi, B., Canizares, C., dan Bhattacharya, K.. 2011. Modeling and Performance Analysis of Large Solar Photo-Voltaic Generation on Voltage Stability and Inter-area Oscillations, *IEEE PES General Meeting*, ISSN. 1944-9925, , Page(s) 1-6. San Diego CA.
- Tim Contained Energi Indonesia. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Jakarta : Kementerian Dalam Negeri.
- Zainuddin, M. 2014. Optimasi Injeksi *Photovoltaic Distributed Generations* (PVDG) Menggunakan Metode Algoritma Genetika. *Jurnal EECCIS* Vol. 8, No. 2.